

Manual de
**SISTEMAS ELÉTRICOS
EM AERÓDROMOS**



MANUAL DE SISTEMAS ELÉTRICOS EM AERÓDROMOS
SUPERINTENDÊNCIA DE INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA – SIA

Novembro / 2020

SUPERINTENDENTE

Giovano Palma

GERENTE DE CERTIFICAÇÃO E SEGURANÇA OPERACIONAL

Fábio Lopes Magalhães

GERENTE TÉCNICO DE ENGENHARIA AEROPORTUÁRIA

Lucas Bernardino Travagim

EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL

Victor Hugo Ghignatti Mendes

Lázaro Luiz Neves

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Assessoria de Comunicação Social (ASCOM)

DÚVIDAS, SUGESTÕES E CRÍTICAS PODEM SER ENVIADAS PARA O E-MAIL

obras.sia@anac.gov.br

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	4
2. OBJETIVOS	5
3. INTEGRIDADE E CONFIABILIDADE	6
3.1. Definições	6
3.2. Práticas para Aumentar Integridade e Confiabilidade	6
4. FONTES DE ENERGIA ELÉTRICA	9
4.1. Fontes de Energia Próprias / Públicas em Aeródromos	9
4.2. Fonte de Energia Local Independente	10
4.3. Fonte de Energia para Auxílios Visuais	10
4.4. Requisitos de Tempo de Transferência (comutação)	13
4.5. Equipamento	14
4.6. Abrigos e Gabinetes para Equipamentos Elétricos	17
5. DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA	18
5.1. Circuito de Alimentação de Fonte Primária	18
5.2. Sistemas Aéreos de Distribuição Primária	19
5.3. Sistemas de Distribuição Subterrâneos	20
6. TIPOS DE CIRCUITOS ELÉTRICOS PARA AUXÍLIOS VISUAIS	20
6.1. Características Elétricas	20
6.2. Circuitos em Série	21
6.3. Circuitos em Paralelo (Múltiplos)	22
6.4. Comparação de Circuitos em Série e em Paralelo	24
7. SISTEMAS ELÉTRICOS	25
7.1. Intercalação de Circuitos de iluminação de Aeródromos	25
7.2. Disposição em Gabinetes ou Quadros Elétricos	26
8. CÁLCULOS DE CARGA E DIMENSIONAMENTO DO RCC	27
9. TIPOS DE LÂMPADAS	29
9.1. Lâmpadas Incandescentes	29
9.2. Lâmpadas de Descarga de Gás	31
9.3. Unidades de Diodos Emissores de Luz (LED)	32
9.4. Mesclando Tecnologias	36
9.5. Aquecedores	37
9.6. Manutenção	38
10. NORMAS RELEVANTES	39
REFERÊNCIAS	39

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas elétricos em aeródromos requerem atenção nas fases de projeto, instalação e manutenção, visando a manter a segurança, a regularidade e a eficiência da aviação civil. Especial atenção deve ser dada aos sistemas elétricos dedicados aos auxílios à navegação, que devem atender alguns requisitos normalmente desnecessários em outras aplicações.

Sendo assim, é necessário que os sistemas elétricos de um aeródromo tenham um alto nível de integridade e confiabilidade. Considera-se que a probabilidade de falha do sistema bem projetado e mantido, em um momento crítico, é extremamente baixa.

A iluminação de solo do aeródromo (AGL) é um importante elemento no auxílio à visualização das pistas e pátios. Em conjunto com os sistemas de sinalização horizontal, sinalização vertical e auxílios para pouso por instrumento, a iluminação de solo fornece orientação para pilotos e pessoal envolvido na operação do aeroporto.

Desse modo, e considerando que os sistemas elétricos são abordados de maneira abrangente pelos regulamentos vigentes, com foco apenas no desempenho requerido, este manual busca prover orientações adicionais que auxiliem no projeto e na instalação dos sistemas elétricos de aeródromos.

2. OBJETIVOS

Partindo da premissa de que os leitores deste material possuem alguma familiarização com o tema, o conteúdo deste Manual visa a fornecer orientações adicionais ao projeto e à instalação de sistemas elétricos em aeródromos, em especial aqueles destinados à alimentação dos sistemas de iluminação que compõem os auxílios visuais. Além das características aplicadas às instalações elétricas em geral, este documento busca também contemplar algumas características especialmente importantes para instalações em ambientes aeroportuários.

Cabe observar que este Manual não aborda os sistemas elétricos para suprimento de energia ao terminal de passageiros e às demais edificações, assim como não abrange todo o escopo do Doc. 9157, *Aerodrome Design Manual, Part 5 - Electrical Systems*, que serviu de base para elaboração deste texto. Ressalta-se ainda que os sistemas utilizados para alimentação dos auxílios-rádio são especificados em normativos do Comando da Aeronáutica (COMAER).

A ANAC recomenda a implementação das práticas previstas neste Manual, mas esclarece que seu conteúdo não possui natureza normativa e não é de cumprimento obrigatório pelo operador de aeródromo e demais interessados. Além disso, as práticas recomendadas devem ser adaptadas às peculiaridades de cada aeródromo.

Destaca-se também que o cumprimento do disposto neste Manual não isenta o operador de aeródromo de cumprir os requisitos estabelecidos nos regulamentos editados pela Agência. Adicionalmente, este material se destina a complementar o arcabouço normativo associado ao tema, que, naturalmente, tem sempre precedência sobre este material.

3. INTEGRIDADE E CONFIABILIDADE

3.1. DEFINIÇÕES

Talvez o maior desafio para o projetista de um sistema de auxílios visuais de aeródromos seja conceber uma instalação que contemple um alto nível de integridade e confiabilidade. Entretanto, estes são termos de difícil definição e mensuração em se tratando desse tipo de sistema.

As definições mais comumente aceitas para ambos os termos são que a confiabilidade está relacionada com o tempo médio entre falhas (TMEF) dos componentes do sistema e que a integridade está associada à sobrevivência do sistema como um todo após a ocorrência da falha. Considera-se que os auxílios visuais devem ter integridade e confiabilidade comparáveis às oferecidas pelos auxílios não-visuais.

Desta forma, a confiabilidade sofre o impacto da escolha dos componentes e do uso, enquanto a integridade é afetada pelo projeto e instalação dos sistemas e pela manutenção dos equipamentos. Em geral, considera-se que instalações de auxílios visuais bem projetadas e mantidas têm um nível elevado de integridade e que a probabilidade de uma falha ocorrer em um momento crítico na sua operação é extremamente baixa. No entanto, não se devem deixar de tomar medidas razoáveis na busca pela melhora da integridade e da confiabilidade destas instalações.

Podemos classificar os fatores elétricos que impactam a integridade e a confiabilidade da seguinte forma:

- a) falha do circuito;
- b) falha da fonte de alimentação;
- c) falha do circuito de controle.

3.2. PRÁTICAS PARA AUMENTAR INTEGRIDADE E CONFIABILIDADE

3.2.1. MÚLTIPLOS CIRCUITOS

Uma prática comum é a utilização de vários circuitos na composição do sistema de iluminação, de modo a evitar que a falha em um dos circuitos resulte na perda de todo o sistema. Às vezes, são empregados quatro circuitos para o sistema de luzes de aproximação e de cabeceiras, sendo um deles utilizado para as luminárias das luzes de cabeceiras e três para as luminárias do sistema de luzes de aproximação. Já para as luzes de borda dos sistemas de pistas de pouso e decolagem e pistas de táxi, geralmente são utilizados dois circuitos.

Os circuitos aplicados ao sistema de luzes de aproximação podem ser projetados de tal forma que, caso um deles falhe, apenas um terço das barras ou um terço das luzes que compõe uma barra ficará inoperante. Nos sistemas de iluminação de pistas de pouso e decolagem e pistas de táxi, as luminárias podem ser conectadas alternadamente (intercaladas) em dois circuitos distintos.

A utilização de apenas um circuito de alimentação para cada setor específico do sistema de iluminação não é recomendável, visto que, em caso de falha deste circuito, pode ocorrer a redução a um nível abaixo do aceitável na capacidade do sistema de iluminação em orientar o aeronavegante.

Por exemplo, um sistema de iluminação de aproximação (ALS) composto por dois circuitos, sendo um que alimenta a primeira porção do sistema e outro que alimenta a segunda, pode, em caso de falha de um dos circuitos, apagar a metade das luzes necessárias para prover adequada orientação ao piloto durante a fase crítica do pouso da aeronave.

De maneira similar, a provisão de dois circuitos de modo que cada circuito atenda um dos lados (luzes de borda) de uma pista de pouso e decolagem pode, em caso de falha de um dos circuitos, deixar o piloto sem a orientação necessária durante a movimentação da aeronave. Portanto, o objetivo da utilização de múltiplos circuitos é manter um nível mínimo de orientação em caso de ocorrência de falha de um deles.

3.2.2. MÚLTIPLAS FONTES DE ALIMENTAÇÃO

O nível de confiabilidade da fonte de alimentação é elevado quando se agrega ao sistema uma fonte alternativa (secundária) capaz de iniciar automaticamente o suprimento de energia em caso de falha da fonte principal (primária). Deve-se considerar a utilização de equipamentos que permitam reduzir a um intervalo tão curto quanto necessário o tempo entre a interrupção da fonte primária e o início do suprimento do sistema pela fonte secundária.

Tempos de comutação da ordem de 0,3 a 0,5 segundos podem ser obtidos por equipamentos utilizados em pistas de aproximação de precisão. Em sistemas de menor exigência, como para operações de aproximação de não precisão ou visual, estas taxas variam entre 10 a 15 segundos.

Outro procedimento que pode ser adotado é a utilização da fonte alternativa (gerador) para o suprimento primário de energia durante períodos críticos, tais como em condição de baixa visibilidade ou quando há previsão de tempestades no aeroporto. Assim, em caso de falha no gerador, a comutação é feita para a fonte primária (rede de energia). Tais sistemas e configurações serão explorados nos próximos capítulos deste Manual.

3.2.3. SISTEMAS DE CONTROLE REDUNDANTE

Geralmente é dada especial atenção aos sistemas de iluminação e às alternativas para fontes de alimentação, mas a disponibilização de alternativas para controle dos sistemas de iluminação na torre de controle é, por vezes, negligenciada. A probabilidade de falha destes circuitos de controle pode ser semelhante à de um circuito de iluminação. Sendo assim, deve ser avaliada a necessidade de prover sistemas redundantes de controle.

3.2.4. PROJETANDO PARA INTEGRIDADE E CONFIABILIDADE

O projeto e a instalação de sistemas de iluminação de aeródromos podem impactar a integridade e a confiabilidade desses sistemas em outros aspectos além dos já mencionados. Em geral são os mesmos recursos utilizados para reduzir e simplificar a manutenção. Alguns destes recursos são determinados nas decisões do projeto, tais como:

- a) instalação de cabos em eletrodutos em vez de enterrados diretamente no solo;
- b) utilização de luzes embutidas em detrimento de luzes elevadas em áreas onde o tráfego de aeronaves e veículos oferece risco de colisão frequente com as luminárias;
- c) provimento de circuitos de aterramento para todo o sistema para reduzir os impactos de sobretensões causadas por descargas atmosféricas;
- d) em locais mais frios, equipar as luminárias com elementos de aquecimento para eliminar problemas de condensação de umidade e/ou formação de gelo.

Visando a atingir um alto nível de confiabilidade, o projetista deve levar em consideração as limitações ambientais dos componentes do sistema a ser aplicado. Por exemplo, equipamentos com faixa operacional de +0 até +50°C devem ser instalados em ambientes fechados (internos). Já os equipamentos eletrônicos, como reguladores de corrente constante (RCC) e fontes de alimentação ininterrupta (UPS), devem ser instalados em abrigos apropriados. Além disso, deve ser avaliada a necessidade de prover meios para adequada ventilação destes equipamentos.

3.2.5. PROJETANDO PARA DISPONIBILIDADE

As decisões de projeto que afetam a integridade e a confiabilidade também podem estar relacionadas à disponibilidade de um determinado sistema (D), que pode ser expressa como uma relação entre os valores esperados de tempo de atividade (Ea) e inatividade (Ei), conforme equação a seguir:

$$D = E_a / (E_a + E_i)$$

A disponibilidade operacional (Do), seria expressa pela relação entre o tempo médio entre falhas (TMEF) e o período geral, composto pela soma do TMEF com o tempo médio para reparo (TMPR). A relação pode ser otimizada por meio do fornecimento adequado de materiais, ferramentas e pessoal capacitado, o que implica a minimização do TMPR.

Em resumo, a administração do aeroporto deve estar preparada para fazer reparos no sistema de forma a permitir seu retorno à operação em um espaço mínimo de tempo. A disponibilidade pode ser calculada pela equação a seguir:

$$D_o = TMEF / (TMEF + TMPR)$$

Em que:

$$TMEF = (\text{Tempo total disponível} - \text{Tempo perdido}) / (\text{Número de paradas})$$

$$TMPR = (\text{Tempo total de reparo}) / (\text{Quantidade de falhas})$$

4. FONTES DE ENERGIA ELÉTRICA

Uma vez conhecidas as demandas levantadas durante o desenvolvimento do projeto, são escolhidas as fontes de suprimento de energia elétrica. Essa escolha é relevante, uma vez que a segurança das operações em aeródromos depende da qualidade da energia elétrica suprida. A potência necessária para suprir os sistemas dos auxílios visuais geralmente é uma pequena parcela do total necessário para atender a toda potência instalada no aeródromo.

Tanto para auxílios visuais em um novo aeródromo quanto para expansão ou modernização de instalações já existentes, as fontes de energia devem ser avaliadas quanto à disponibilidade, à capacidade, à confiabilidade e à praticidade para atender a instalação proposta e as futuras expansões previstas. Nesta análise devem ser considerados os requisitos da Tabela F-1, subparte F, do RBAC nº 154, para aplicação nos casos de falha ou mau funcionamento da fonte de alimentação primária.

4.1. FONTES DE ENERGIA PRÓPRIAS / PÚBLICAS EM AERÓDROMOS

A maioria dos aeródromos tem seu suprimento de energia atendido pela rede pública de energia elétrica. Sobretudo em grandes aeroportos e em aeródromos localizados em região de difícil acesso ou com escassez de mão-de-obra qualificada, é recomendável que haja no mínimo dois pontos distintos de conexão à rede, garantindo que estes pontos tenham seu suprimento de energia provenientes de subestações distintas e independentes entre si. A rede da concessionária geralmente possui uma malha interconectada, podendo inviabilizar a identificação destes pontos realmente independentes entre si. Nestas condições, a escolha deve ser feita de modo a reduzir, tanto quanto possível, a probabilidade de falha simultânea das subestações.

A subestação principal de energia elétrica do aeródromo é normalmente alimentada em média tensão (superior a 1,0 kV e inferior a 69 kV). A tensão é reduzida nesta subestação para distribuição no aeródromo na faixa de baixa tensão (igual ou inferior a 1,0 kV). Adequações adicionais podem ser necessárias para atender a tensão de entrada específica dos diferentes equipamentos.

Em grandes aeroportos, a confiabilidade do fornecimento de energia para as subestações individuais pode ser aprimorada usando um circuito de entrada de alta tensão (superior a 69 kV e inferior a 230 kV). Essa opção pode permitir também o acesso ao mercado livre de energia, o que representa maior flexibilidade no projeto, uma vez que não seria necessário buscar alternativas de redução de custo para as tarifas de ponta, por exemplo.

É importante lembrar que a conexão à rede pública de energia para acesso ao sistema de distribuição deve atender ao preconizado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e às normas locais.

4.2. FONTE DE ENERGIA LOCAL INDEPENDENTE

Além de uma fonte pública, alguns aeródromos, por razões econômicas, podem ter instalações próprias para o suprimento de energia elétrica. A fonte de energia local pode ser na forma de um grupo motor-gerador a diesel, turbinas eólicas ou até uma planta de energia fotovoltaica, como ilustrada na Figura 1.

Devido às características inerentes aos aeródromos e à natureza de suas operações, estes tendem a ter grandes áreas abertas disponíveis e propícias para a implantação de painéis fotovoltaicos, cuja instalação deve ser projetada de modo a evitar reflexos que possam dificultar a visão dos pilotos e dos operadores da torre de controle, assim como prevenir a interferência de sinais eletromagnéticos com equipamentos de auxílio à navegação no aeródromo.

Há que se destacar, no entanto, que a implantação dos sistemas de geração independentes não exige o aeroporto de dispor das instalações necessárias para o consumo de energia da rede. Deve ser consultada a Resolução nº 482/12 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que trata dos sistemas de compensação de energia.



Figura 1 – Planta solar fotovoltaica, 4,2 MWp - Aeroporto internacional de Salvador/Dep. Luís Eduardo Magalhães (SBSV)

(Fonte: Salvador Bahia Airport)

4.3. FONTE DE ENERGIA PARA AUXÍLIOS VISUAIS

A Tabela 1, reproduzida a partir da Tabela F-1 do RBAC nº 154, lista os tempos máximos para que uma fonte de energia secundária restaure a funcionalidade dos auxílios visuais associados a pistas de aproximação de não-precisão, de aproximação de precisão ou pistas de decolagem em condições de RVR inferior a 800 metros.

O projeto dos auxílios visuais deve ser tal que, em caso de falha ou mau funcionamento da fonte primária, ocorra a transferência automática para a fonte secundária, de modo a garantir o retorno da iluminação dos auxílios visuais dentro dos limites de tempo especificados.

Usualmente, os aeródromos adotam grupos geradores a diesel como a fonte secundária de energia (FSE). Uma segunda fonte de energia pública também pode ser utilizada como fonte secundária. No entanto, essa configuração requer um alto nível de confiabilidade do serviço da distribuidora de energia.

A integridade das operações supridas por duas fontes da rede pública está diretamente associada ao grau de separação e independência entre elas. Se ambas as fontes vierem de redes de distribuição interligadas, uma falha na rede pode comprometer as duas.

Tabela 1 - Requisitos da fonte secundária de energia elétrica
(Extraída da Tabela F-1 do RBAC 154 Emenda nº 06)

Pista de pouso e decolagem	Auxílios luminosos que precisam de energia	Máximo tempo de comutação
Aproximação de Não-Precisão	Sistema de luzes de aproximação (ALS) Indicadores da rampa de aproximação visual ^[a,d] Luzes de lateral de pista ^[d] Luzes de cabeceira de pista ^[d] Luzes de fim de pista Luzes de obstáculo ^[a]	15 segundos
Aproximação de Precisão CAT I	Sistema de luzes de aproximação (ALS) Luzes de lateral de pista ^[d] Indicadores da rampa de aproximação visual ^[a,d] Luzes de cabeceira de pista ^[d] Luzes de fim de pista Luzes de pista de táxi essencial ^[a] Luzes de obstáculo ^[a]	15 segundos
Aproximação de Precisão CAT II/III	Sistema de luzes de aproximação (ALS) Barretas complementares de luzes de aproximação Luzes de obstáculo ^[a] Luzes de lateral de pista Luzes de cabeceira de pista Luzes de eixo de pista Luzes de fim de pista Luzes de zona de toque Luzes de todas as barras de parada Luzes de pista de táxi essencial	15 segundos 15 segundos 15 segundos 15 segundos 1 segundo 1 segundo 1 segundo 1 segundo 1 segundo 15 segundos
Pista destinada à decolagem em condições de RVR inferior a 800 m.	Luzes de lateral de pista Luzes de fim de pista Luzes de eixo de pista Luzes de todas as barras de parada Luzes de pista de táxi essencial ^[a] Luzes de obstáculo ^[a]	15 segundos 1 segundo 1 segundo 1 segundo 15 segundos 15 segundos

[a]- Suprida com energia secundária quando sua operação for essencial para a segurança da operação de voo.

[d]- 1 segundo quando as aproximações forem sobre terrenos perigosos ou escarpados.

A geração local de energia alternativa, como eólica ou fotovoltaica, não pode ser utilizada como fonte secundária, em substituição ao grupo gerador a diesel, por exemplo, uma vez que essas fontes não são despacháveis, isto é, a menos que complementadas por um sistema de armazenamento de energia, elas não podem ser acionadas apenas de acordo com a demanda.

Em pistas de aproximação de não precisão e de aproximação de precisão Categoria I, recomenda-se o arranjo (a) da Figura 2. Nesses casos, como mencionado anteriormente, é usual empregar um grupo gerador como fonte secundária (FSE). Destaca-se que a comutação de carga deve ser regulada de modo a atender os 15 segundos preconizados na Tabela 1.

Já em pistas de aproximação de precisão Categorias II e III, recomenda-se o emprego de uma fonte ininterrupta de energia (UPS), usualmente constituída por um banco de baterias. Como exemplificado no arranjo (b) da Figura 2, durante uma operação normal, a alimentação pública funciona como fonte primária. Em caso de falha, ocorre um processo de duas etapas.

Na primeira etapa, a UPS fornece energia aos reguladores de corrente constante (RCCs). A duração desta etapa depende da autonomia do banco de baterias, que em geral varia entre 15 e 30 minutos. Antes que ocorra o esgotamento total das cargas das baterias, a outra fonte de alimentação deve ser acionada para que esteja disponível para assumir a carga na segunda etapa.

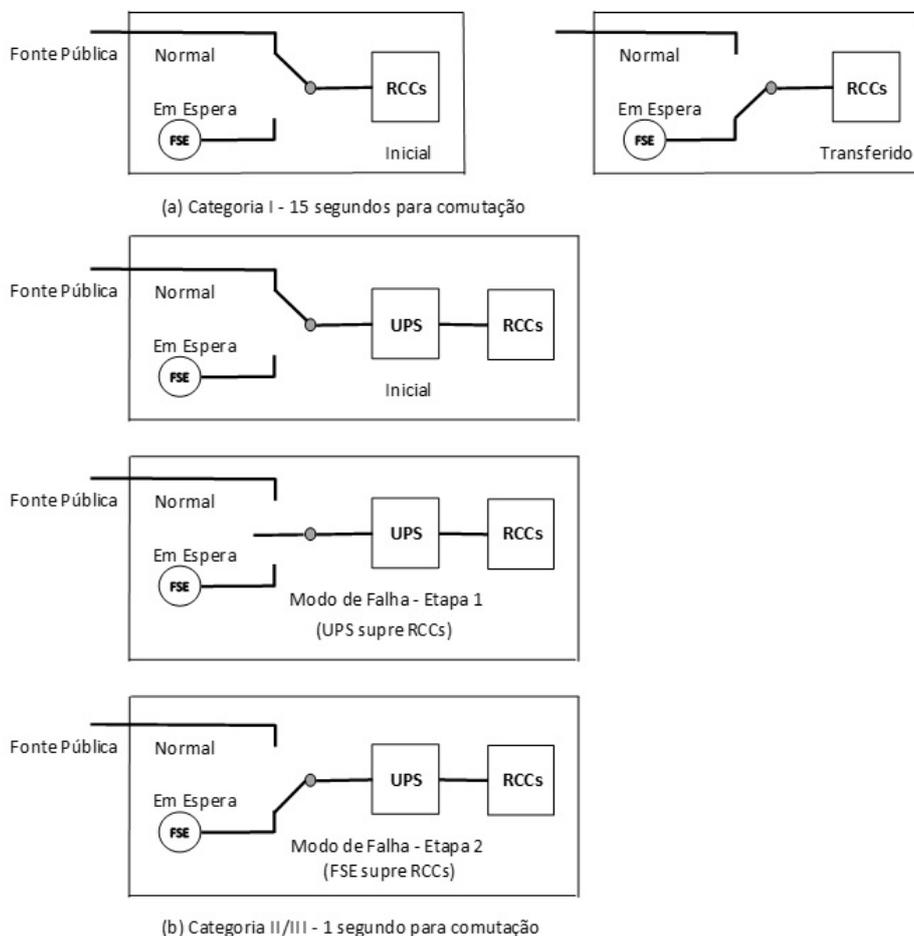


Figura 2 – Suprimento de energia elétrica normal e em espera.

(Adaptada DOC 9157 – Parte 5 - 2ª edição, 2017)

Outro método otimizado para atender ao tempo de comutação requerido pela Tabela 1 é separar as instalações de luzes específicas, como segregar as luzes de borda de pista de pouso e decolagem e de pista de táxi das luzes de eixo, de zona de toque e de cabeceira/fim de pista de pouso e decolagem, como ilustrado na Figura 3.

Dessa forma, o grupo gerador fornece energia para todas as instalações em operações Categoria II/III, de acordo com a Tabela 1. Quando ocorre a falha da fonte primária, no entanto, a UPS fornece energia para as luzes de eixo, de zona de toque e de cabeceira/fim de pista de pouso e decolagem, visando a atender ao requisito de 1 segundo, enquanto as luzes de borda de pista de pouso e decolagem e de pista de táxi podem aguardar os 15 segundos para suprimento direto pelo grupo gerador.

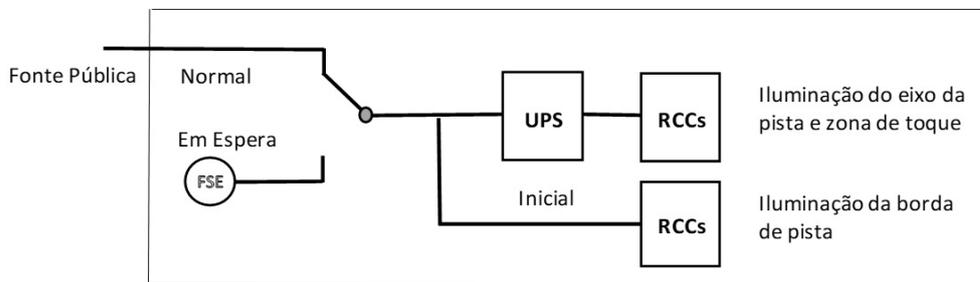


Figura 3 – Suprimento de energia elétrica normal e em espera.

(Adaptada DOC 9157 – Parte 5 - 2ª edição, 2017)

4.4. REQUISITOS DE TEMPO DE TRANSFERÊNCIA (COMUTAÇÃO)

Quando ocorre falha da fonte primária para os auxílios visuais críticos, a carga deve ser transferida para a fonte secundária. No caso de uma fonte de energia local, como uma unidade geradora diesel-elétrica, essa fonte deve ser acionada, atingir a velocidade adequada e a tensão de saída estabilizada antes que a carga possa ser transferida.

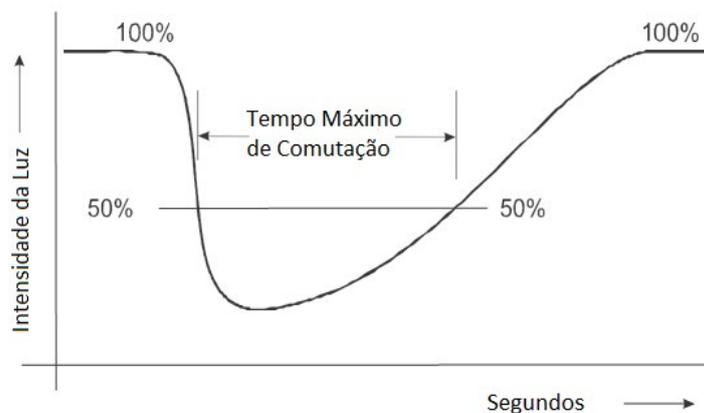


Figura 4 – Curva característica para tempo de comutação.

(Adaptada DOC 9157 – Parte 5 - 2ª edição, 2017)

O “tempo máximo de comutação”, ilustrado na Figura 4, é definido como o tempo medido entre o momento em que a intensidade da luz cai abaixo de 50% do valor de sua intensidade original até o momento em que recupera o valor de 50%. **Esse tempo não é referente à comutação no quadro elétrico.**

Assim, o tempo total de comutação é, na realidade, o tempo de interrupção no funcionamento da iluminação e não no suprimento da eletricidade. Esse intervalo de tempo pode ser verificado através da medição da saída fotométrica de uma lâmpada utilizada nos auxílios visuais ou de uma lâmpada instalada de maneira adequada para realização deste teste. Recomenda-se que o teste seja feito nas luzes de cabeceira/fim de pista de pouso e decolagem da cabeceira mais distante da casa de força.

É importante observar que, na comutação, a intensidade de uma luz incandescente pode não chegar a zero devido à inércia térmica no filamento da lâmpada. O mesmo pode não ser observado em sistemas que utilizam lâmpadas de LED, cuja indutância no circuito tem um papel mais importante.

4.5. EQUIPAMENTO

4.5.1 COMPONENTES

Os componentes do sistema de energia elétrica devem dispor de um nível de qualidade tal que se obtenha confiabilidade e disponibilidade, assim como tensões e frequências necessárias à instalação. Comumente, os principais componentes utilizados nos sistemas de auxílios visuais de aeródromos são: os grupos de motores geradores, os dispositivos de comutação, os dispositivos para fornecimento da energia necessária à partida do motor gerador e os abrigos ou gabinetes para estes equipamentos.

4.5.2. GRUPO MOTOR GERADOR

Usualmente, a fonte de energia secundária é um conjunto motor gerador que consiste em um motor principal, um gerador, um dispositivo de partida, controles de partida e um tanque de combustível. O grupo motor gerador para unidade de energia secundária geralmente tem capacidade entre 100 a 500 kVA, mas pode ter capacidade muito maior (de 50 a 4.000 kVA) dependendo da sua aplicação e das necessidades do aeródromo.

- a) Motor principal: Os motores principais da maioria das unidades de energia secundária são a diesel, mas existem também os que são a gasolina ou a gás. A escolha é baseada nos custos e disponibilidade dos combustíveis. Esses componentes geralmente estão disponíveis em tamanhos padronizados com potência adequada para a faixa de quilovolt-ampère (kVA) do gerador. Os motores principais para a maioria dos grandes aeroportos são do tipo de partida rápida que pode iniciar automaticamente, estabilizar sua velocidade e ser conectado à carga em 15 segundos.
- b) Geradores: O gerador, em geral um alternador, é mecanicamente acoplado ao motor principal e fornece a energia elétrica secundária na frequência, na tensão e na classe de potência da unidade. Podem ser geradores monofásicos ou trifásicos e devem ter alta eficiência na conversão de energia mecânica em energia elétrica (vide Figura 5).

c) Dispositivos de partida: A maioria dos grupos motores geradores de energia secundária utiliza baterias para armazenar a energia necessária para sua partida. Devido ao uso pouco frequente, aos curtos períodos em operação, às altas demandas de corrente de partida e aos elevados custos, as baterias utilizadas com maior frequência para a partida dessas unidades são as do tipo chumbo-ácido. A bateria (geralmente um pacote formado por um conjunto de baterias conectadas em série e/ou paralelo) deve ser capaz de fornecer a corrente e a tensão necessárias para a partida do motor dentro dos tempos exigidos e nas condições mais severas (menores temperaturas) a que a unidade de energia secundária deva operar. Um carregador de bateria com controle de sobrecorrente e sobrecarga deve ser permanentemente conectado à energia elétrica visando a manter o nível adequado de energia armazenada nas baterias. O conjunto de baterias deve estar em local que permita boa ventilação para evitar o acúmulo de gás hidrogênio e deve ser protegido de arcos e faíscas elétricas ou chamas que possam vir a causar a explosão de qualquer tipo de acúmulo desse gás. As baterias de níquel-cádmio também podem ser empregadas em condições especiais que justifiquem seu alto custo inicial. Volantes de inércia, vasos de pressão pneumáticos e outros tipos de dispositivos de armazenamento de energia que não sejam baterias são utilizados com pouca frequência para partida do motor devido à baixa confiabilidade e aos elevados custos.



Figura 5 – Grupo motor gerador diesel-elétrico do Aeroporto Internacional de Curitiba/Afonso Pena (SBCT).

(Fonte: Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária)

d) Controles de partida: Os controles usualmente utilizados em grupos motores geradores são para uma partida automática com sensor para detectar a falha da fonte primária como parte do dispositivo de comutação. Às vezes, controles manuais ou remotos são usados em instalações com baixo nível de criticidade. Quando acionado o controle de partida, a velocidade e a potência são automaticamente reguladas pelo motor, e a carga elétrica é então conectada pela chave de transferência (comutação). O motor gerador deve operar automaticamente sem a necessidade de qualquer outro tipo de ajuste ou operação. O retorno à fonte primária de energia e a parada do equipamento também podem se dar de forma automática ou por controle remoto.

- e) Suprimento de combustível: O combustível líquido para a FSE é geralmente armazenado em tanques próximos ao local onde está instalado o sistema. A capacidade dos tanques de combustível deve ser adequada para atender o tempo máximo planejado para operação da fonte secundária. Recomenda-se que o sistema de suprimento de combustível seja capaz de alimentar o grupo motor gerador por pelo menos duas vezes a duração máxima prevista para situações de contingência. Os tanques e as conexões de combustível devem atender aos requisitos de segurança e às regulamentações locais, além de fornecer acesso adequado para o abastecimento. Também devem ser projetados para que permitam executar testes de contaminação do combustível, em especial para verificação do acúmulo de água no tanque.
- f) Extração de fumaça: O abrigo do grupo motor gerador e dos demais equipamentos deve possuir um sistema de extração de fumaça, conforme estabelecido pela regulamentação local.

4.5.3. DISPOSITIVO DE TRANSFERÊNCIA DA ENERGIA

É necessário um dispositivo de transferência adequado para comutação de energia da fonte primária para a fonte secundária. Para partida e controles manuais, pode ser utilizado um simples interruptor ou relé que desconecta a carga de uma fonte de energia e a conecta à outra.

Controles adicionais são necessários para transferências automáticas, que em geral estão instalados em única unidade de controle ou cubículo. Essa unidade deve ser capaz de detectar a falha do suprimento primário de energia, iniciar a partida da unidade secundária, verificar se a tensão e a frequência do gerador se estabilizaram adequadamente e conectar a carga ao gerador.



Figura 6 – Painel de transferência do Aeroporto Internacional de Curitiba/Afonso Pena (SBCT).

(Fonte: Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária)

Essa unidade também pode desconectar cargas e instalações não essenciais e que não devam ser supridas pela fonte secundária, transferindo essas cargas de volta à fonte primária após a alimentação de energia por meio dessa fonte ter sido restaurada.

Os interruptores ou relés utilizados para conectar e desconectar cargas devem ser adequados à carga nominal do gerador. O funcionamento desses interruptores ou relés é semelhante nos tempos de transferência de 1 ou 15 segundos, embora possam ser necessários dispositivos de ação mais rápida para o menor tempo de transferência. Para uma comutação de 15 segundos, os sensores devem responder, em média, em menos de 3 segundos, em razão de os motores de partida rápida necessitarem geralmente de pelo menos 10 segundos para partir e estabilizar. A Figura 6 apresenta um exemplo de painel de transferência.

4.6. ABRIGOS E GABINETES PARA EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

A maioria dos equipamentos elétricos para os diferentes sistemas dos aeródromos está localizada em abrigos ou gabinetes especiais para proteção contra as intempéries e por questões de segurança. Subestações de alta tensão geralmente ficam ao ar livre, enquanto os transformadores de distribuição de média tensão são frequentemente colocados em grupo, protegidos por alguma barreira que controle o acesso.

Recomenda-se que os abrigos dos equipamentos elétricos fiquem acima do nível do solo, de modo a evitar problemas com a água da chuva, e seja feito de materiais à prova de fogo. Concreto armado para os pisos e blocos de concreto ou alvenaria para as paredes são opções comumente adotadas. O uso desses materiais reduz o risco de choque elétrico, de curto-circuito e de incêndio. Alternativamente, estruturas metálicas pré-fabricadas podem ser utilizadas para abrigar os transformadores e grupos de motores geradores.

Independentemente da solução que venha a ser adotada, os abrigos devem ser dimensionados de modo a não haver aglomeração de equipamento, facilitando as atividades rotineiras de manutenção e as eventuais substituições de equipamento que venham a ser necessárias.

Ainda, esses abrigos devem ser localizados de maneira a não infringir as superfícies limitadoras de obstáculos, além de não estarem excessivamente distantes dos sistemas, minimizando a queda de tensão nos cabos de controle. O comprimento ideal desses cabos varia com a seção, a tensão e os relés utilizados. No entanto, alguns dos sistemas de controle mais longos chegam a alcançar mais de 2.000 m de comprimento.

Os abrigos devem ser isolados de outros edifícios e instalações para evitar a propagação de incêndios ou explosões, exceto os abrigos para grupos motores geradores secundários, que podem estar próximos ao gabinete elétrico para reduzir o comprimento e o tamanho dos cabos, além de simplificar o sistema de transferência de energia.

5. DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA

Este capítulo aborda os materiais, equipamentos e dispositivos utilizados na transmissão de energia elétrica entre a subestação principal do aeroporto e os quadros de iluminação ou os transformadores de distribuição do local. São apresentadas descrições gerais de necessidades e características de equipamentos. Os tipos de equipamentos e o número de dispositivos variam com o tamanho e a complexidade do aeródromo.

A economia é uma parte importante dos critérios de escolha e instalação, e somente equipamentos que contribuam para desempenho, segurança, confiabilidade e integridade devem ser usados. Outro ponto importante na seleção e instalação dos equipamentos é o planejamento de futuras expansões.

O uso eficiente de energia elétrica é sempre uma meta desejável, mas o custo da energia necessária para alimentar os sistemas de iluminação costuma ser, em aeródromos de médio e grande porte, uma parte pouco expressiva do custo total de energia. Assim, é interessante fazer uma análise para ponderar o custo do consumo de energia em relação aos custos de instalação e às eventuais reduções de desempenho, segurança e confiabilidade.

5.1. CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO DE FONTE PRIMÁRIA

A energia primária geralmente é reduzida em tensão na subestação principal para distribuição no aeródromo. Nos grandes aeroportos, o primeiro estágio pode estar em alta tensão, mas para aeródromos menores e menos complexos, a energia pode ser distribuída em um nível mais baixo de tensão.

A alimentação em alta tensão em grandes aeroportos, obrigatória a partir de uma determinada demanda, tende a representar maior confiabilidade no sistema, uma vez que o aeroporto estaria conectado a um pequeno grupo de consumidores. No entanto, costuma ser imputado ao consumidor o custo de implantação dos equipamentos necessários para redução de tensão. A distância e a carga total no circuito são fatores importantes na determinação do nível de tensão da transmissão.

A energia primária é transmitida da subestação principal para a subestação local ou para locais de distribuição, geralmente como circuitos multifásicos aéreos (acima do solo), circuitos subterrâneos ou uma combinação deles. Os circuitos aéreos possuem menor custo de instalação e geralmente são os mais utilizados, mas podem estar mais expostos a danos e, a depender da sua localização, podem ser um perigo às aeronaves ou gerar interferência em outros equipamentos.

Já as linhas que adentrem a área operacional, ou estejam nas suas proximidades, devem ser enterradas. Recomenda-se que os cabos de alimentação subterrâneos sejam dispostos em dutos específicos, mas eles também podem ser enterrados diretamente no solo. Cada tipo de circuito, aéreo ou subterrâneo, possui suas particularidades de projeto e de equipamentos.

5.2. SISTEMAS AÉREOS DE DISTRIBUIÇÃO PRIMÁRIA

Os fatores a seguir devem ser levados em conta no projeto de sistemas de distribuição de energia:

- Utilização: A distribuição aérea costuma ser mais vantajosa que a subterrânea. A distribuição aérea deve ser evitada na área operacional do aeroporto ou nas suas proximidades.
- Capacidade: É interessante fornecer capacidade sobressalente em cada porção do circuito. As cargas de pico não se relacionam diretamente com a capacidade excedente.
- Condutor: O diâmetro da seção transversal do cabo condutor deve ser selecionado de acordo com a capacidade de carga de corrente necessária e, onde aplicável, com a máxima queda de tensão aceitável no sistema.
- Perigo para aeronaves: O projeto de um sistema de distribuição aérea deve respeitar as superfícies limitadoras de obstáculos. Deve-se observar também possíveis interferências com operações de helicópteros.

A Figura 7 exemplifica, em diagrama unifilar, o arranjo de um sistema de distribuição de cargas em um aeródromo

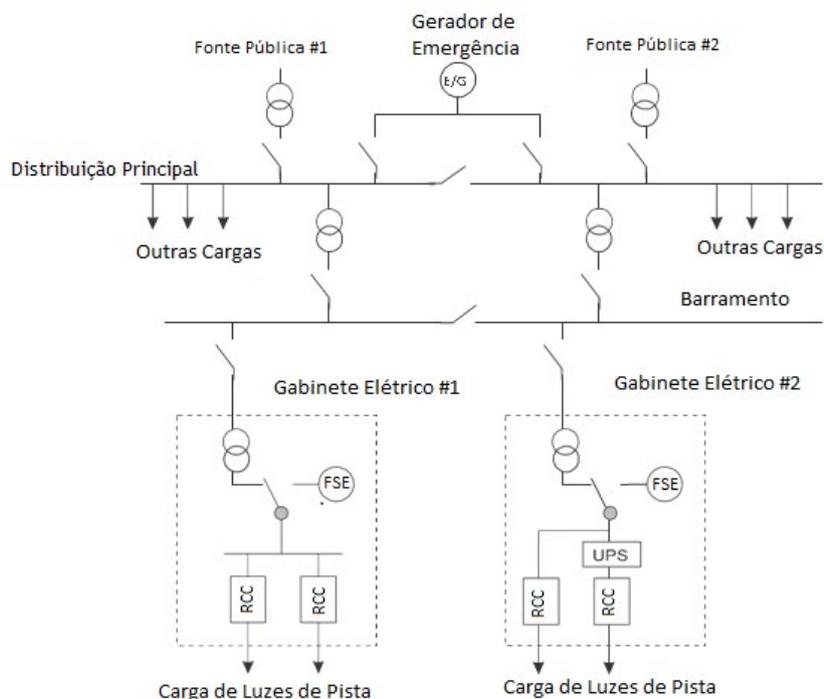


Figura 7 – Esquema da distribuição de cargas.

(Adaptada DOC 9157 – Parte 5 - 2ª edição, 2017)

5.3. SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO SUBTERRÂNEOS

Os circuitos de distribuição de energia primária devem ser instalados no subsolo em determinadas áreas dentro, ou nas proximidades, do aeródromo. Embora as instalações subterrâneas custem mais do que os sistemas aéreos convencionais, os possíveis problemas de interferência com auxílios à navegação ou com a própria navegação aérea podem requerer o emprego desse tipo de instalação.

Esses circuitos podem ser diretamente enterrados, mas recomenda-se que sejam instalados pelo método *pull-in*, em que os cabos são puxados através de dutos específicos. O primeiro método é geralmente menos dispendioso do que o segundo, mas como ele provê menor proteção aos cabos, costuma-se enterrar diretamente apenas as instalações de pequenas cargas e que possuem requisitos de confiabilidade menos restritivos. Sugere-se que cabos de média tensão que venham a ser enterrados sejam providos de cobertura ou blindagem metálica para proteção contra danos mecânicos.

Onde a resistência à corrosão for um fator importante, os cabos blindados podem exigir revestimento plástico ou em borracha sintética. Usualmente, os circuitos de distribuição subterrâneos que alimentam os auxílios visuais dos aeródromos são instalados pelo método *pull-in*.

6. TIPOS DE CIRCUITOS ELÉTRICOS PARA AUXÍLIOS VISUAIS

Este capítulo aborda circuitos elétricos de aeródromos que utilizam luminárias convencionais com lâmpadas incandescentes, não sendo aplicável às instalações que utilizam luminárias de LED (diodo emissor de luz), abordadas na sequência deste Manual. Orientações básicas de projeto e instalação de sistemas elétricos de iluminação aeronáutica podem ser obtidos na IEC 61820, da *International Electrotechnical Commission*.

6.1. CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

A energia elétrica para iluminação dos auxílios visuais em aeródromos é quase inteiramente fornecida em corrente alternada (CA) a 50 ou 60 hertz. Tanto circuitos em série quanto em paralelo são usados para essas instalações. Em grandes aeródromos com longas pistas de pouso e decolagem e com grande número de pistas de táxi, o projeto da sinalização luminosa é baseado principalmente em circuitos em série. Já em aeródromos menores, com pistas de pouso e decolagem curtas e com poucas pistas de táxi, a instalação da sinalização luminosa pode ser baseada em circuitos em paralelo.

Os circuitos em paralelo também podem ser utilizados para os *flashes* dos sistemas de luzes de aproximação, embora elas possam, se necessário, ser alimentadas a partir de um circuito em série

com uso de dispositivos conversores. Preferencialmente, a iluminação de pátio e de obstáculos deve ser concebida com circuitos em paralelo.

6.2. CIRCUITOS EM SÉRIE

Os componentes dos circuitos em série são conectados em uma linha com a mesma corrente passando por cada elemento, formando um laço contínuo cujo início e fim estão nos terminais do regulador de corrente constante. Já um circuito em paralelo possui tensão de entrada fixa, enquanto a corrente nos trechos do circuito varia de acordo com os dispositivos conectados.

Os reguladores de corrente constante de um circuito em série, no entanto, mantêm uma corrente constante independentemente da carga no circuito. Assim, a mesma corrente passará em um circuito longo ou curto, mesmo que alguns dispositivos falhem.

Em um circuito em série simples, uma falha em uma lâmpada, por exemplo, causa uma condição de circuito aberto. Logo, faz-se necessário instalar um transformador de isolamento para circuito em série como parte do projeto do circuito, para manter a sua continuidade em caso de falha de um ou mais dispositivos. Nos casos em que um único transformador é usado para fornecer energia a vários equipamentos, como mostra a Figura 8, um dispositivo de desvio (*by-pass*) deve ser incorporado ao sistema para garantir a continuidade no lado secundário.

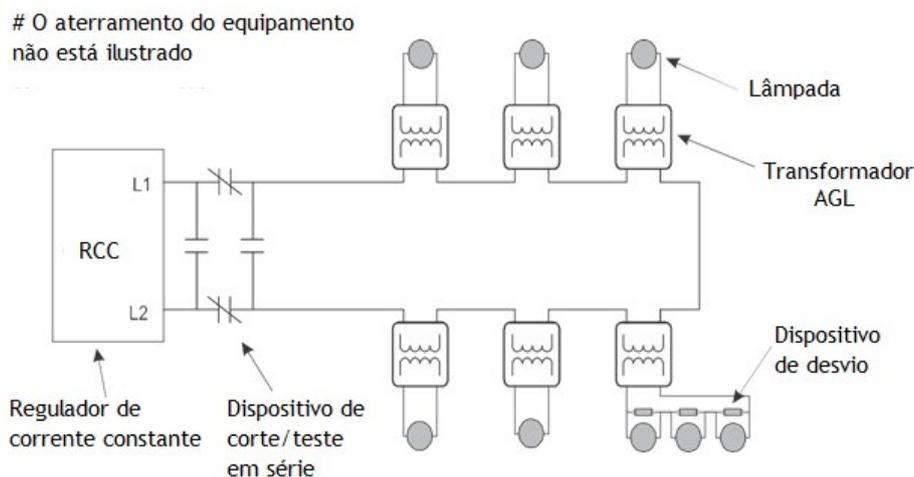


Figura 8 – Circuito de Iluminação em série.

(Adaptada DOC 9157 – Parte 5 - 2ª edição, 2017)

6.2.1. VANTAGENS DOS CIRCUITOS EM SÉRIE

Algumas das vantagens dos circuitos em série para a sinalização luminosa dos aeródromos são:

- todas as lâmpadas operam na mesma corrente e, portanto, na mesma intensidade;
- pode ser utilizado um condutor individual com um diâmetro constante e de mesma classe de tensão de isolamento em todo o circuito;

- c) o controle de intensidade das luzes pode ser obtido em uma ampla faixa;
- d) o circuito pode ter fuga de corrente à terra em qualquer ponto do circuito sem afetar a operação dos demais dispositivos;
- e) usualmente, as lâmpadas utilizadas em circuitos em série são de alta corrente e baixa tensão. Por exemplo, uma luz de borda da pista pode conter uma lâmpada de 6,6 amperes e 12 volts. A baixa tensão permite o uso de um filamento compacto que atua como fonte pontual e facilita o controle ótico por meio de lentes; e
- f) a intercalação de circuitos pode ser mais facilmente aplicada em instalações em série.

6.2.2. DESVANTAGENS DOS CIRCUITOS EM SÉRIE

As principais desvantagens dos circuitos em série quando utilizados para alimentar os auxílios visuais de um aeródromo são:

- a) os custos de instalação tendem a ser mais altos, já que o regulador de corrente constante e os transformadores AGL costumam aumentar consideravelmente o custo;
- b) uma falha de circuito aberto em qualquer parte do lado primário do circuito torna todo ele inoperante e pode danificar o isolamento do cabo ou o regulador de corrente constante; e
- c) a identificação do local das falhas, especialmente as falhas de circuito aberto, é mais difícil.

6.3. CIRCUITOS EM PARALELO (MÚLTIPLOS)

O uso de (múltiplos) circuitos em paralelo para a sinalização luminosa não é recomendado para grandes aeródromos e sistemas complexos pelos seguintes motivos:

- a) circuitos em paralelo geralmente envolvem um conjunto de cabos mais caro do que para um circuito de alta tensão em série;
- b) é mais difícil obter um equilíbrio preciso de intensidade entre todas as luzes; e
- c) é maior a probabilidade de haver queima de conjuntos de lâmpadas devido à incapacidade dos reguladores de tensão de controlar flutuações de tensão muito rápidas da parte da fonte de energia.

Circuitos em paralelo podem ser vantajosos em aeródromos de pequeno porte em que a mão-de-obra para manutenção não é especializada em sistemas elétricos de aeródromos e em realidades nas quais os profissionais eletricitistas podem não ter o treinamento especial necessário para instalações de circuitos em série.

Em vista dessas considerações, os circuitos em paralelo devem ser utilizados preferencialmente quando houver poucos componentes no circuito e o equilíbrio preciso da intensidade não for crítico, como, por exemplo, em uma pista de táxi curta.

Em aeródromos menores, com pistas de pouso e decolagem e pistas de táxi de curta extensão, é possível implantar tensão paralela para a sinalização luminosa.

6.3.1. EFEITOS DE FALHA

Para circuitos em paralelo, uma lâmpada queimada que produz uma falha de circuito aberto não afeta seriamente o sistema de iluminação geral, mas uma falha de curto-circuito, dependendo do dispositivo de proteção (fusível ou disjuntor) utilizado, tornaria o sistema de luzes inoperante. Essa situação é o oposto do observado em um circuito em série.

6.3.2. VANTAGENS DOS CIRCUITOS DE ILUMINAÇÃO EM PARALELO

Algumas das vantagens dos circuitos em paralelos para a sinalização luminosa de aeródromos são:

- a) menor custo de instalação, principalmente se não for necessário apurada regulagem de tensão e controle de intensidade;
- b) utilização mais eficiente da energia elétrica;
- c) facilidade para adicionar ou suprimir um circuito;
- d) os circuitos são mais familiares para a maioria dos profissionais da área;
- e) a identificação do local das falhas de condutores, especialmente falhas de circuito aberto, é mais fácil; e
- f) um circuito aberto pode não desligar todo o sistema.

A Figura 9 ilustra a utilização de circuitos em paralelo para um sistema de sinalização luminosa.

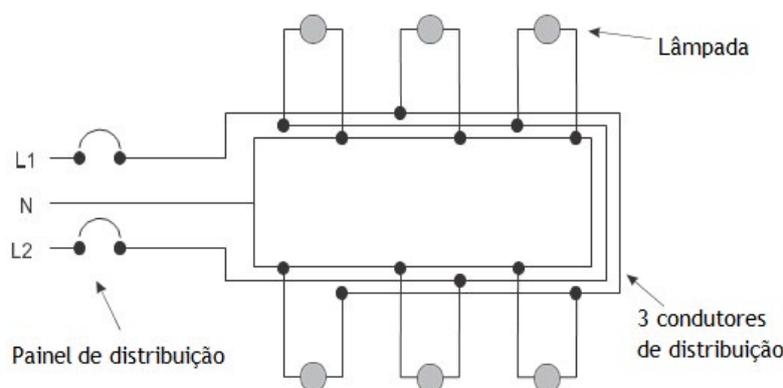


Figura 9 – Circuito de iluminação em paralelo.

(Adaptada DOC 9157 – Parte 5 - 2ª edição, 2017)

6.3.3. DESVANTAGENS DOS CIRCUITOS DE ILUMINAÇÃO EM PARALELO

Algumas das principais desvantagens do uso de circuitos em paralelo para a sinalização luminosa de aeródromos são:

- a) a intensidade das luzes diminui com a queda de tensão ao longo da linha do circuito. Isso pode ser prejudicial à funcionalidade da sinalização luminosa se for perceptível em um mesmo conjunto de luzes;
- b) são necessários dois condutores ao longo do circuito completo e podem ser necessários condutores de maior diâmetro para reduzir a queda de tensão na linha;
- c) os filamentos das lâmpadas são geralmente mais longos, o que pode exigir lentes e luminárias maiores;
- d) o controle de intensidade, especialmente nas intensidades mais baixas, é mais difícil de ser obtido com precisão, ou o custo do equipamento necessário para se ter esse controle aumenta consideravelmente o custo global da instalação;
- e) uma simples falha de aterramento no alimentador de alta tensão desabilitará o sistema; e
- f) fugas de corrente à terra podem ser difíceis de serem localizadas.

6.4. COMPARAÇÃO DE CIRCUITOS EM SÉRIE E EM PARALELO

Os circuitos em série são geralmente empregados em sistemas de sinalização luminosa em aeródromos devido à intensidade uniforme das luzes e ao melhor controle de brilho das sinalizações. Tais sistemas incluem a maioria das luzes de pista de pouso e decolagem e pistas de táxi, além dos sistemas de luzes de aproximação.

Já os circuitos em paralelo são geralmente projetados para o uso em áreas de iluminação geral, em auxílios visuais individuais ou em pequeno grupo e na distribuição de energia. Esses circuitos geralmente são utilizados na iluminação de pátio, nos *flashes* sequenciais dos sistemas de luzes de aproximação e nos auxílios visuais individuais, como faróis de aeródromo e indicadores de direção do vento iluminados. Adicionalmente, podem ser utilizados em luzes de identificação de obstáculo e em alguns circuitos de distribuição de energia.

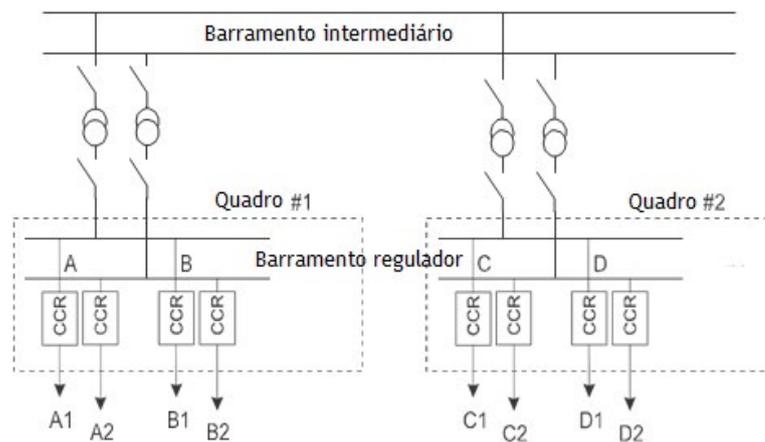
7. SISTEMAS ELÉTRICOS

7.1. INTERCALAÇÃO DE CIRCUITOS DE ILUMINAÇÃO DE AERÓDROMOS

O item 154.503(a) do RBAC nº 154 especifica que, para uma pista destinada à utilização em condições de alcance visual de pista menor que 550 m, os sistemas elétricos para fornecimento de energia, iluminação e controle dos sistemas de iluminação devem ser projetados de forma que uma falha de um circuito não deixe o piloto com orientação visual inadequada ou informações erradas.

Para tal, é recomendável que todos os sistemas de luzes de aproximação e de luzes de pista de pouso e decolagem sejam compostos por dois circuitos intercalados. Exemplos de intercalação de circuitos para melhorar a integridade são mostrados nas Figura 10 a 12. Cada circuito em um sistema intercalado deve se estender por todo o auxílio (por exemplo, todo comprimento da pista) e ser disposto de modo que um padrão de iluminação simétrica equilibrada seja provido no caso de falha de um ou mais circuitos.

Recomenda-se que as instalações listadas na Tabela F-1 do RBAC nº 154 sejam compostas por sistemas intercalados. Usualmente, a sinalização luminosa na cabeceira da pista é constituída por luzes de cabeceira (vermelhas)/fim de pista (verdes). Elas costumam ser intercaladas como parte do sistema de iluminação de borda da pista.



2 circuitos por sistema de iluminação

Figura 10 – Disposição de circuitos intercalados.

(Adaptada DOC 9157 – Parte 5 - 2ª edição, 2017)

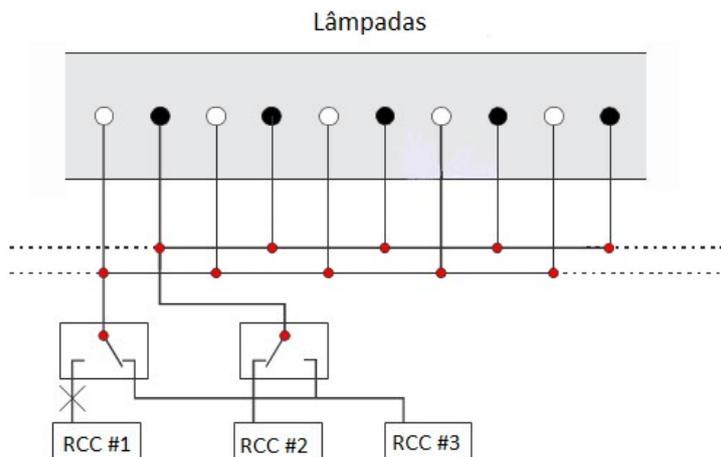


Figura 11 – Uso de regulador sobressalente.
(Adaptada DOC 9157 – Parte 5 - 2ª edição, 2017)

A Figura 12 ilustra a intercalação de dois circuitos independentes para alimentar o sistema de luzes de borda, de cabeceira e de eixo de pista de pouso e decolagem.

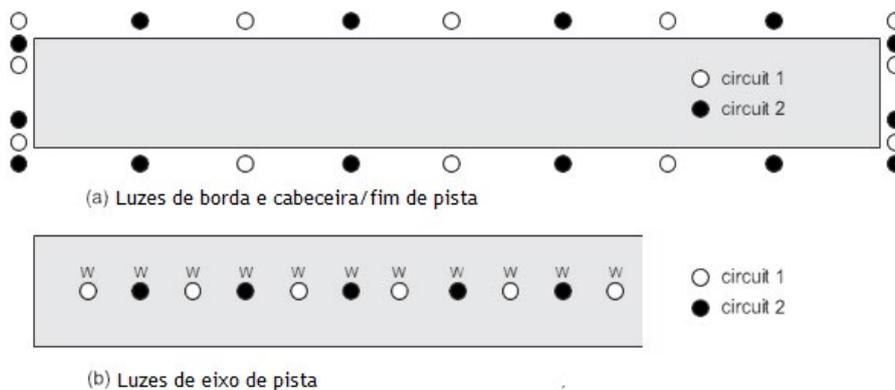


Figura 12 – Luzes de borda, cabeceira e eixo de pista
(Adaptada DOC 9157 – Parte 5 - 2ª edição, 2017)

Deve-se tomar cuidado para identificar adequadamente os cabos e os transformadores AGL onde a intercalação é aplicada à instalação.

7.2. DISPOSIÇÃO EM GABINETES OU QUADROS ELÉTRICOS

Quando se fala em intercalação, geralmente se considera apenas a disposição dos circuitos “em campo”. No entanto, recomenda-se que esse mesmo princípio seja estendido aos gabinetes, quadros elétricos e afins. Conforme ilustrado na Figura 10, os circuitos e os reguladores associados podem

ser alimentados a partir de barramentos separados, de modo que cada circuito seja alimentado a partir de um RCC específico e o arranjo seja tal que um RCC sobressalente esteja disponível para ser colocado em operação dentro de um curto espaço de tempo.

Como forma adicional de garantir a disponibilidade em caso de falha, pode-se fazer um arranjo para permitir a mudança para um regulador sobressalente, conforme exemplificado na Figura 11. Esse método pode ser usado nos casos em que regulador é composto pelo componente de regulação e pelos transformadores de entrada/saída. Já para reguladores compostos apenas pelo componente de regulação, pode ser usado um projeto montado em *rack* ou *plug-in* e a disponibilidade é obtida com o uso de um regulador sobressalente que pode ser facilmente posto no lugar do regulador defeituoso.

8. CÁLCULOS DE CARGA E DIMENSIONAMENTO DO RCC

Este capítulo provê orientações básicas para o cálculo de cargas em um circuito aeroportuário com o objetivo de auxiliar a seleção de um regulador de corrente constante adequado. Em alguns casos, o projetista pode se valer da similaridade para selecionar a classe do regulador, tomando como base um aeródromo semelhante. No entanto, recomenda-se que essa seleção seja feita por meio de cálculo.

O cálculo da carga do regulador deve levar em consideração as cargas das lâmpadas, as tolerâncias das lâmpadas, a eficiência dos transformadores de isolamento e as perdas nos cabos. Cabe destacar que alguns *softwares* comerciais para execução destes cálculos podem ser adquiridos ou obtidos junto aos fabricantes dos dispositivos.

Os seguintes tipos de cargas devem ser considerados nos cálculos:

- a) **Carga da lâmpada:** Corresponde às especificações nominais das lâmpadas;
- b) **Carga da lâmpada relacionada ao primário:** É a carga da lâmpada, mais a tolerância da lâmpada e a eficiência do transformador de isolamento, referem-se ao lado primário do transformador.
- c) **Carga do condutor secundário:** É a carga resistiva do condutor secundário, entre o transformador de isolamento e a luminária. Para luminárias embutidas no pavimento, essa carga pode ser bastante grande. Já no caso das luzes de borda com um transformador de isolamento adjacente, essa carga é insignificante e pode ser ignorada. Para as luzes de aproximação em torres altas, pode haver um valor relativamente alto de resistência secundária. Uma vez determinada a carga secundária total (lâmpadas e cabos), ela deve ser adicionada ao lado primário do transformador de isolamento, incluindo quaisquer perdas que possam ocorrer devido à eficiência do próprio transformador. Essa eficiência varia com a carga da lâmpada.

- d) **Carga primária do cabo:** É a carga resistiva nos cabos primários entre as subestações.
- e) **Carga do alimentador:** É a carga resistiva dos cabos do alimentador que liga a primeira e a última luz do sistema ao regulador de corrente constante. O comprimento do cabo do alimentador é o dobro da distância do gabinete do regulador ao sistema de iluminação, assumindo que a primeira e a última luz estejam equidistantes do regulador.

A Figura 13 exemplifica as cargas mencionadas.

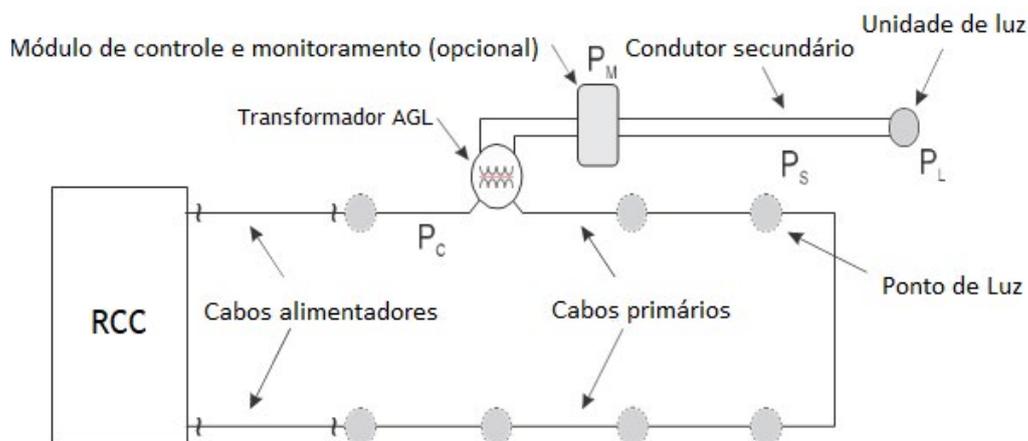


Figura 13 – Distribuição de cargas do circuito.

(Adaptada DOC 9157 – Parte 5 - 2ª edição, 2017)

Após efetuados os cálculos, obtém-se a potência real, em Watts. Porém, a potência aparente, em kVA, depende do fator de potência previsto do sistema geral. Para algumas instalações de sinalizações luminosas, o fator de potência pode ser relativamente baixo e deve ser considerado no dimensionamento do regulador.

Dispositivos eletrônicos, como luminárias de LED, podem fornecer uma carga não linear ou reativa no circuito. Esses dispositivos podem incluir comutação de fontes de alimentação que podem conferir uma característica capacitiva à carga do circuito. Além disso, quando o circuito é energizado, esses dispositivos podem simular inicialmente uma queda de tensão relativamente alta e mudar repentinamente para uma queda de tensão menor. O projetista deve consultar o fabricante do RCC e do componente eletrônico para determinar se há problemas de compatibilidade a serem considerados.

Algumas sinalizações, particularmente as verticais, podem conter um transformador saturável que garante um nível contínuo de luminância através dos níveis de brilho do regulador de corrente constante. Essas sinalizações podem ter grandes oscilações na carga imposta ao circuito em série durante a inicialização ou após a falha de uma lâmpada. Esse tipo de carga pode não ser bem tolerado por certos reguladores, incorrendo em instabilidade ou até mesmo no desligamento do circuito. O projetista deve consultar o fabricante do regulador e da sinalização para determinar a compatibilidade adequada.

Para determinar os requisitos de carga e o tamanho do RCC para essas sinalizações, seria incorreto simplesmente adicionar a potência exigida pelas mesmas à carga dos demais itens no circuito e, em seguida, realizar os cálculos normais para perdas nos cabos, para eficiência do transformador etc.

Considerando um circuito com várias sinalizações que somam uma carga de 10 kVA, adicionado de outros dispositivos e das perdas, que somam 3 kVA, tem-se um total de 13 kVA. Um RCC de 15 kVA deveria ser adequado para essa carga no nível mais alto, com uma tensão de saída máxima nominal de 2.272 volts. No entanto, se esse RCC estiver definido para um nível mais baixo, os componentes da sinalização no circuito ainda exigirão 10 kVA para manter sua funcionalidade. Em 2,8 Ampères, a carga de 10 kVA requer cerca de 3.570 volts, logo, o RCC está subdimensionado.

Para fornecer a energia adequada aos dispositivos, a tensão máxima necessária para as sinalizações no nível mais baixo do circuito a ser usado deve ser considerada juntamente com o VA dos demais componentes do circuito, com as perdas de cabo e com a eficiência do transformador de isolamento em série.

Os circuitos que incorporam a tecnologia LED, e eventualmente outras formas de iluminação, devem ser avaliados juntamente com os fabricantes dos dispositivos. Os princípios, no entanto, permanecem os mesmos dos sistemas convencionais em relação a fatores como perdas de cabos.

9. TIPOS DE LÂMPADAS

Este capítulo apresenta algumas tecnologias de lâmpadas que são mais comumente utilizadas para a sinalização luminosa em aeródromos. As lâmpadas incandescentes foram, no passado, as mais utilizadas nos sistemas de sinalização luminosa dos aeródromos. Houve a evolução natural para a tecnologia seguinte, as lâmpadas de halogênio. Atualmente ocorre a migração para o sistema mais eficiente, a tecnologia de estado sólido, composto pelas luzes eletrônicas de diodo emissor de luz, ou LED.

9.1. LÂMPADAS INCANDESCENTES

A seguir, são apresentadas as principais características desses dispositivos que devem ser levadas em conta quando do projeto dos circuitos de sinalização.

O fluxo luminoso, a vida útil e a energia consumida das lâmpadas incandescentes são função da tensão ou da corrente aplicada, conforme indicado na Tabela 7. Por exemplo, se a tensão aplicada a uma lâmpada for 5% maior que a tensão nominal, o fluxo luminoso será cerca de 118% do nominal, enquanto a vida útil da lâmpada será cerca de metade da vida útil do projeto.

Já os efeitos das mudanças na corrente são mais importantes. Se a corrente estiver 5% acima da nominal, o fluxo luminoso será cerca de 135% do nominal, enquanto a vida útil será cerca de três décimos da vida útil de projeto. Esses valores ilustram a necessidade de um controle rigoroso da tensão e corrente.

Tabela 7 – Equações de lâmpadas Incandescentes.

(Adaptada DOC 9157 – Parte 5 - 2ª edição, 2017)

$$\frac{\text{fluxo luminoso (lm)}}{\text{FLUXO LUMINOSO}_{\text{nom}} \text{ (lm)}} = \left(\frac{\text{tensão (V)}}{\text{TENSÃO}_{\text{nom}} \text{ (V)}} \right)^{3,38} = \left(\frac{\text{corrente (A)}}{\text{CORRENTE}_{\text{nom}} \text{ (A)}} \right)^{6,25}$$

$$\frac{\text{vida útil (h)}}{\text{VIDA ÚTIL}_{\text{nom}} \text{ (h)}} = \left(\frac{\text{TENSÃO}_{\text{nom}} \text{ (V)}}{\text{tensão (V)}} \right)^{3,38} = \left(\frac{\text{CORRENTE}_{\text{nom}} \text{ (A)}}{\text{corrente (A)}} \right)^{6,25}$$

$$\frac{\text{consumo (W)}}{\text{CONSUMO}_{\text{nom}} \text{ (W)}} = \left(\frac{\text{tensão (V)}}{\text{TENSÃO}_{\text{nom}} \text{ (V)}} \right)^{1,54} = \left(\frac{\text{corrente (A)}}{\text{CORRENTE}_{\text{nom}} \text{ (A)}} \right)^{2,85}$$

Os expoentes nas equações acima variam de acordo com os dispositivos. Esses valores, no entanto, são aproximações válidas para estágios iniciais de projeto. O importante é compreender que a operação dos dispositivos em condições diferentes das suas especificações pode reduzir substancialmente a sua vida útil.

9.1.1. LÂMPADAS DE TUNGSTÊNIO-HALOGÊNEO

Boa parte das lâmpadas utilizadas atualmente nos aeródromos são de tungstênio-halogêneo. Elas são compostas por um filamento de tungstênio contido em um gás inerte e com uma pequena quantidade de um elemento halogêneo, como iodo.

Quando o filamento é aquecido, o tungstênio evapora do filamento e condensa nas paredes internas do invólucro. O halogêneo vaporizado combina-se com o tungstênio condensado, formando um vapor. Esse vapor chega ao filamento aquecido, onde se desassocia e recoloca o tungstênio no filamento. Esse processo reduz o escurecimento da lâmpada, aumenta a sua vida útil e mantém uma melhor intensidade e eficiência.

O ciclo do halogênio é mais eficiente na corrente nominal da lâmpada. Por esse motivo, sistemas como o de luzes de aproximação devem ser operados no patamar mais alto de brilho por um período adequado para limitar o escurecimento do bulbo da lâmpada.

9.1.2. LÂMPADAS COM REVESTIMENTO INFRAVERMELHO (IRC)

Nas lâmpadas de halogêneo, 60% da energia é irradiada na forma de radiação infravermelha. As lâmpadas IRC possuem um revestimento especial interno que redireciona a energia (calor) infravermelha de volta ao filamento, de modo que o filamento opere a uma temperatura mais alta, produzindo mais lúmens por watt, ou seja, de maneira mais eficiente. Essas lâmpadas costumam ter vida útil superior (até o dobro) às lâmpadas de halogêneo nas mesmas condições.

9.2. LÂMPADAS DE DESCARGA DE GÁS

9.2.1. FLASHES SEQUENCIAIS DAS LUZES DE APROXIMAÇÃO

Historicamente, as lâmpadas utilizadas para os *flashes* sequenciais dos sistemas de luzes de aproximação eram gasosas. Esses dispositivos são compostos por um tubo que contém um gás inerte, como argônio ou criptônio, por exemplo, e que emite luz quando um arco é criado no gás.

Seu funcionamento se dá pelo arco elétrico gerado por capacitores alimentados pela fonte de energia estabelecida. Tensões muito altas estão presentes na fonte de alimentação e na lâmpada, e esse perigo deve ser considerado no projeto do sistema. A intensidade de pico das luzes pode ser muito grande, mas de curta duração. Já a frequência do *flash* é limitada pelo tempo necessário para recarregar os capacitores e é tipicamente de poucas vezes por segundos.

Nos últimos tempos, as lâmpadas LED vêm gradativamente substituindo as de descarga de gás nos *flashes* dos sistemas de luzes de aproximação-ALS.

9.2.2. OUTRAS LÂMPADAS DE DESCARGA DE GÁS

A maior eficiência energética das lâmpadas de descarga de gás incentiva seu uso. Geralmente, o uso dessas lâmpadas é limitado à iluminação de pátios de aeronaves, à exceção das lâmpadas fluorescentes empregadas em sinalizações luminosas, notadamente as sinalizações verticais. Ao considerar o uso de luzes desse tipo, os seguintes fatores devem ser considerados:

- a) Algumas dessas lâmpadas não podem ser reiniciadas por alguns segundos, ou até mesmo minutos, após a extinção do arco elétrico. Interrupções de energia ou comutações de fonte de energia podem causar perda de luzes em momentos críticos. A depender da utilização desse tipo de lâmpadas, é recomendável a previsão de iluminação de emergência por outros tipos de lâmpadas.
- b) Algumas dessas lâmpadas podem não funcionar, ou podem demorar um tempo considerável para acender, a baixas temperaturas.
- c) Essas lâmpadas geralmente não possibilitam o controle de intensidade ou têm um controle limitado quando em comparação com as lâmpadas incandescentes.
- d) Em algumas situações, os efeitos estroboscópicos dessas lâmpadas podem ser significativos. Recomenda-se que essas lâmpadas sejam alimentadas por um sistema trifásico com um equilíbrio na conexão da carga.
- e) Normalmente, a luz emitida por essas lâmpadas cobre uma parte limitada do espectro visual. Isso dificulta o reconhecimento de cores, pois as cores podem não ter a aparência normal quando iluminadas por lâmpadas de descarga gasosa. O vermelho é especialmente impactado.

9.3. UNIDADES DE DIODOS EMISSORES DE LUZ (LED)

Originalmente, a sinalização luminosa em aeródromos (AGL) foi desenvolvida a partir das tecnologias existentes, ou seja, da iluminação de vias terrestres, fazendo uso de circuitos em série, luminárias incandescentes, transformadores de isolamento e reguladores de corrente constante.

Com o advento da tecnologia de estado sólido, a AGL está sofrendo uma mudança progressiva, o que acaba por resolver alguns problemas, mas também cria outros. Este capítulo tem por objetivo fornecer uma breve visão sobre projeto e manutenção desse tipo de equipamento.

Das várias formas de tecnologia de estado sólido, aquela com diodos emissores de luz (LEDs) é a mais comum para aplicação em aeroportos. Inicialmente, os LEDs eram usados para luzes que exigem níveis relativamente baixos de intensidade, como iluminação de obstáculos (32 cd) e iluminação de borda de pista de táxi (2 cd). Nos últimos anos, com o avanço da tecnologia LED, ela passou a ser usada em todos os tipos de AGL, incluindo sinalizações verticais, luzes de alta intensidade, luzes de aproximação, inclusive *flash*, e luzes de proteção de pista. A Figura 14 exemplifica alguns desses dispositivos.



Figura 14 – Tipos de iluminação de LED.
(Adaptada DOC 9157 – Parte 5 - 2ª edição, 2017)

9.3.1. CIRCUITOS EM SÉRIE

Tipicamente, a infraestrutura dos sistemas de sinalização luminosa dos aeródromos que tem como base lâmpadas incandescentes é um circuito em série com um regulador de corrente constante, cabos de alta tensão e uma multiplicidade de transformadores de isolamento. Nesses sistemas, as lâmpadas são conectadas ao lado secundário, de baixa tensão, do transformador de isolamento.

Como mostrado na Figura 15, a unidade de luz LED é composta por transformador, ponte retificadora e conversor que contém microprocessador para controle da intensidade do LED. Esta figura não mostra componentes de supressão de sobretensão para proteção contra raios e picos transitórios.

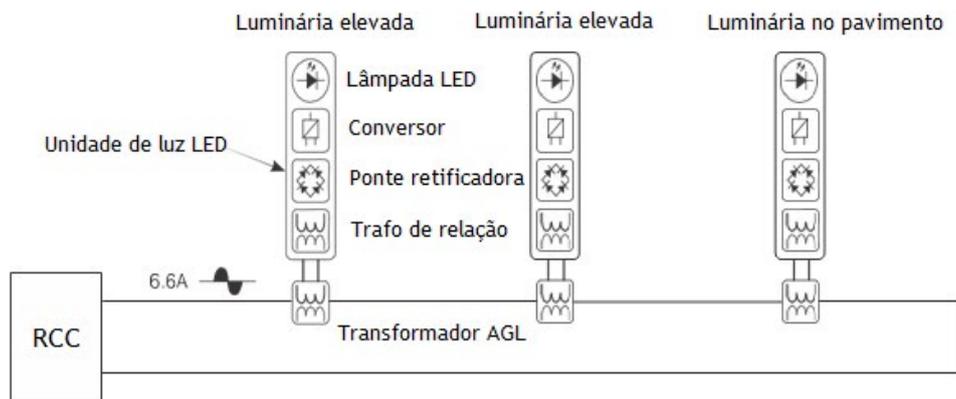


Figura 15 – Circuito em série de iluminação LED.

(Adaptada DOC 9157 – Parte 5 - 2ª edição, 2017)

O transformador de relação fornece um nível de corrente que pode ser usado pela lâmpada LED. Como alternativa, a função do transformador pode ser combinada com a do transformador AGL para ter um único dispositivo com uma relação de espiras de 10:1. A ponte retificadora altera a corrente secundária CA para CC.

É importante observar que um dispositivo de desvio (*by-pass*) não é necessário para luzes LED, tanto embutidas quanto elevadas, uma vez que os reguladores de corrente constante são especificados para operar adequadamente em situações nas quais até 30% das luzes possuem secundários abertos.

O conversor eletrônico fornece uma entrada para o LED. Na medida em que se deseja operar o LED na sua intensidade nominal, o conversor usa modulação por largura de pulso (PWM) para causar uma mudança de intensidade. Os algoritmos fazem com que a luz do LED simule o desempenho de uma luminária com lâmpada incandescente convencional.

9.3.2. CIRCUITOS EM PARALELO

A iluminação LED também pode ser aplicada por meio de um circuito em paralelo, como exemplificado na Figura 16. Os componentes da unidade de luz são mais simples. Esse tipo de implantação possui como vantagens a maior eficiência energética e a maior facilidade de controle, além de facilitar as atividades de manutenção.

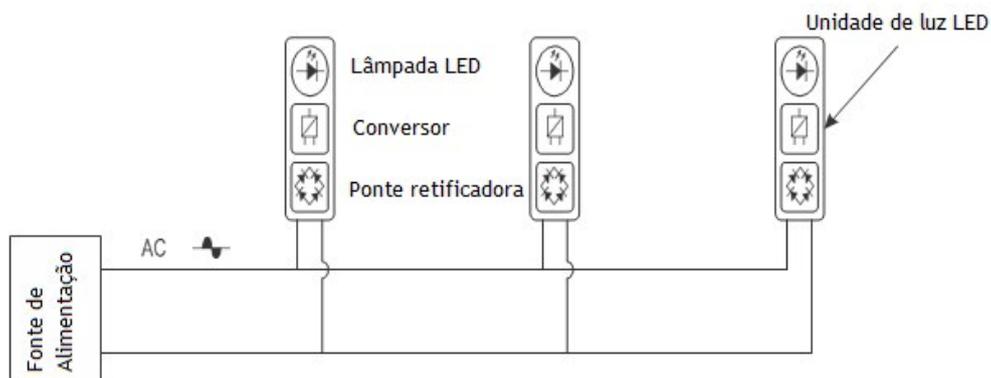


Figura 16 – Circuito em paralelo de iluminação LED

(Adaptada DOC 9157 – Parte 5 - 2ª edição, 2017)

9.3.3. INFRAESTRUTURA ALTERNATIVA

Os dispositivos de LED consomem individualmente muito menos energia elétrica do que as lâmpadas incandescentes. No entanto, caso sejam implantados em um circuito convencional, o consumo referente aos RCCs e aos transformadores antigos irão reduzir esse ganho. Assim, para se aproveitar toda a economia proporcionada pela tecnologia LED, é necessário redimensionar e adequar todo o circuito de alimentação.

O consumo de energia dos RCCs pode variar de acordo com o tipo de arquitetura nele presente. Por exemplo, os RCCs ferro-ressonantes normalmente mantêm um bom fator de potência de entrada e eficiência quando cargas convencionais são substituídas por cargas mais baixas de LED.

No entanto, os RCCs de tiristores normalmente impõem quase a mesma carga na fonte de alimentação de entrada quando é substituída uma carga por uma menor em sua saída. Esses RCCs normalmente possuem derivações que podem ser ajustadas para aumentar a eficiência quando cargas mais baixas estão presentes.

Além disso, os transformadores AGL podem operar de maneira aceitável se uma carga de LED mais baixa for implantada. No entanto, o transformador terá seu melhor desempenho se for substituído por um transformador de potência mais baixa que corresponda à carga do dispositivo LED. Isso exposto, as economias totais possíveis com o projeto de LED podem não ser realmente aproveitadas caso o sistema como um todo não seja pensado para tal. Assim, um arranjo alternativo que permite tomar melhor proveito da capacidade dos LEDs é mostrado na Figura 17.

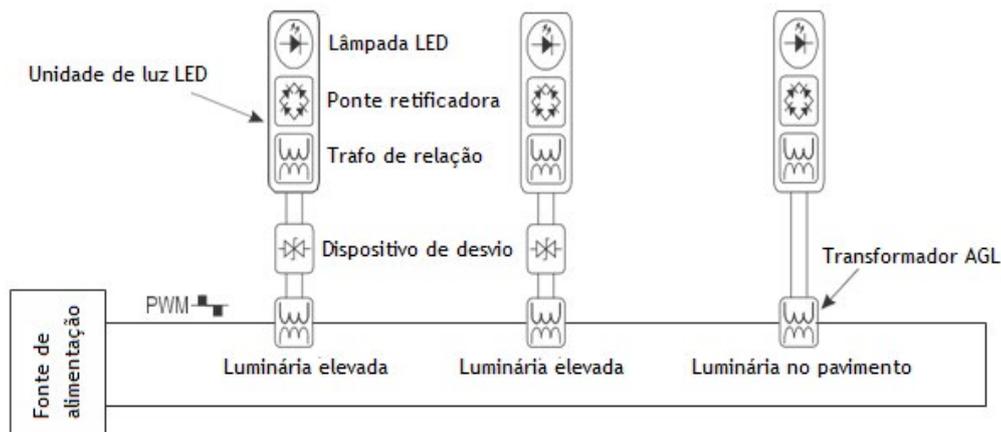


Figura 17 – Uso de uma fonte de alimentação para produzir saída PWM.

(Adaptada DOC 9157 – Parte 5 - 2ª edição, 2017)

O princípio básico desse arranjo alternativo é alocar a função PWM à fonte de alimentação, em vez de fazer com que essa função ocorra dentro de cada unidade. A saída da fonte de alimentação é variada para passar pelos transformadores de isolamento, que ainda são requeridos para evitar colapsos do circuito em série. Cada dispositivo deve contar ainda com uma ponte retificadora, de modo a produzir uma entrada em corrente contínua para as lâmpadas LED.

Adicionalmente, um dispositivo de desvio (*by-pass*) é empregado nas lâmpadas elevadas, a fim de evitar secundários em circuito aberto no transformador de isolamento caso a lâmpada seja quebrada. Por não estarem sujeitas a esse tipo de problema, as lâmpadas embutidas não requerem *by-pass*. Devido à redução na complexidade geral do sistema, o TMEF desse arranjo alternativo pode ser significativamente maior.

9.3.4. CONFIGURAÇÕES DE BRILHO

A visibilidade de uma fonte de luz depende do contexto em que ela é visualizada. O contraste entre a fonte de luz e o seu entorno e o ruído da luz são exemplos de fatores que impactam essa visualização. A pequena banda espectral em uma fonte LED melhora o contraste com o ruído ambiente, permitindo maior visibilidade para uma dada luminosidade.

É desejável que uma unidade LED atue da mesma maneira que a incandescente. No entanto, como mostrado na Figura 18, a resposta natural do LED à entrada de corrente é linear em comparação com a de uma luz incandescente, cuja curva de resposta é exponencial, já que é o resultado do aquecimento do filamento.

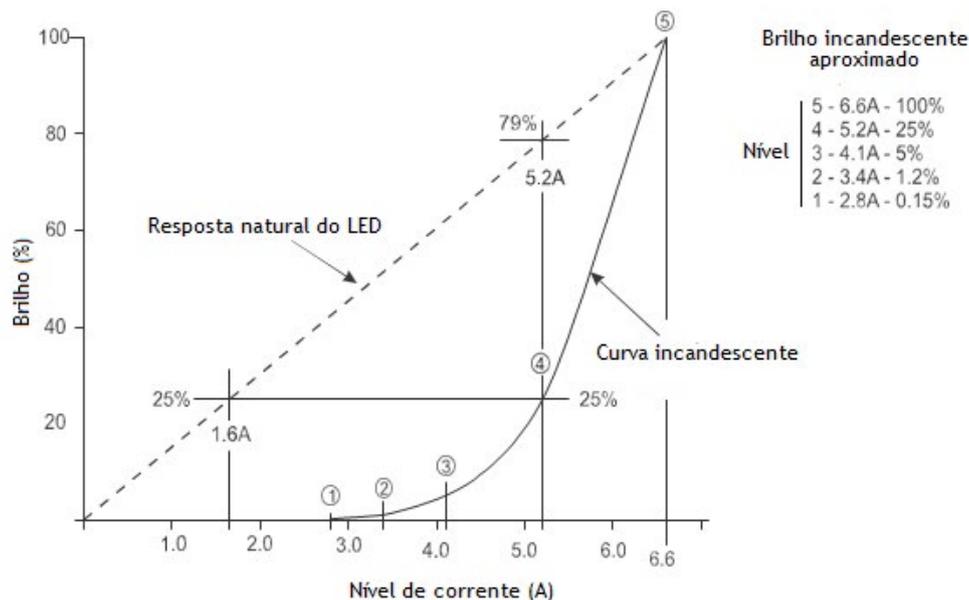


Figura 18 – Curvas de resposta de iluminação LED e incandescente

(Adaptada DOC 9157 – Parte 5 - 2ª edição, 2017)

Com base nas informações da Figura 18, por exemplo, uma unidade de luz incandescente que é operada em 5,2 A deve produzir um brilho que é de cerca de 25% do máximo. Já uma luz de LED que opere a 5,2 A (entrada do transformador de isolamento) produziria cerca de 79% do brilho máximo. Nota-se que, para operar no brilho 4 da Figura 31, o dispositivo LED requereria uma corrente de 1,6 A, valor bem inferior aos 5,2 A da incandescente.

Para emular o desempenho de uma luz incandescente, os algoritmos dos componentes LED são feitos de tal maneira que o brilho fique dentro de um intervalo mínimo/máximo próximo ao que seria produzido por uma lâmpada incandescente, com exceção dos níveis mais baixos. Para esses

níveis mais baixos, o intervalo é reduzido de modo a evitar que o LED pareça excessivamente brilhante em relação ao esperado.

9.4. MESCLANDO TECNOLOGIAS

Como mencionado anteriormente, as lâmpadas de LED possuem componentes eletrônicos para emular os brilhos gerados pelas lâmpadas incandescentes. No entanto, ainda assim, não é recomendável a utilização misturada desses dois tipos de tecnologia, uma vez que há uma chance muito grande de que as exibições visuais geradas por cada tipo sejam diferentes.

Em particular, o LED costuma produzir uma cor saturada que permanece essencialmente a mesma nos diferentes brilhos, enquanto as lâmpadas incandescentes tendem a ficar amareladas quando o filamento é acionado a uma temperatura mais baixa.

A Figura 19 mostra um conjunto de luzes de cabeceira com os dois tipos de lâmpada.



Figura 19 – Luzes de cabeceira incandescente e de LED.

(Adaptada DOC 9157 – Parte 5 - 2ª edição, 2017)

São apresentadas, a seguir, recomendações referentes ao uso de ambas tecnologias simultaneamente nos diferentes sistemas de sinalização luminosa.

- a) **Luzes elevadas de proteção de pista:** Cada par de luzes de proteção de pista deve ser da mesma tecnologia.
- b) **Luzes embutidas de proteção de pista:** Todas as luzes de cada conjunto devem ser da mesma tecnologia.

- c) **Barras de parada:** Todas as luzes de cada conjunto devem ser da mesma tecnologia.
- d) **Luzes de zona de toque:** Todas as luzes devem ser da mesma tecnologia.
- e) **Luzes de eixo da pista de pouso e decolagem:** Todas as luzes devem ser da mesma tecnologia.
- f) **Luzes da borda de pista de pouso e decolagem:** Todas as luzes devem ser da mesma tecnologia.
- g) **Luzes de cabeceira, final de pista e zona de parada:** Todas as luzes devem ser da mesma tecnologia.
- h) **Sinalização vertical:** Toda a cadeia de sinalização vertical de uma mesma região da área de movimento deve ser da mesma tecnologia.
- i) **Sinalização vertical de posição de espera:** As placas nos dois lados da posição de espera de pista de pouso e decolagem devem ser da mesma tecnologia.
- j) **Sinalização vertical de posição intermediária de espera:** Para cada posição intermediária de espera, as placas nos dois lados da pista de táxi devem ser de mesma tecnologia.
- k) **Luzes indicadoras de pista de táxi de saída rápida (RETIL):** Para cada pista de táxi de saída rápida, todas as luzes devem ser da mesma tecnologia.
- l) **Indicador de trajetória de aproximação de precisão (PAPI):** Todas as luzes do conjunto devem ser da mesma tecnologia. Isso inclui cabeceiras que possuam barras de PAPI nos dois lados.
- m) **Luzes de pista de táxi:** Todas as luzes de todos os conjuntos de sinalização luminosa de pista de táxi em um segmento de táxi devem ter a mesma tecnologia.

9.5. AQUECEDORES

O LED tem o benefício de um consumo de energia muito baixo. No entanto, isso também significa uma temperatura operacional mais baixa do que o necessário para manter o equipamento livre de gelo ou de simples condensação que possa alterar a distribuição fotométrica e a percepção da cor.

Além disso, pelo fato de não produzirem calor e, portanto, não emitirem radiação infravermelha, as luzes LED dificultam ou inviabilizam a utilização de sistemas embarcados de aproximação do tipo *Enhanced Vision Systems* - EVS, que empregam câmeras para captação da radiação infravermelha para melhorar a visualização da pista durante pouso sob condições de visibilidade reduzida.

De modo a corrigir essas falhas, os fabricantes podem fornecer um aquecedor para suas unidades de luz LED. A necessidade de um aquecedor depende da localização e das condições climáticas a que está exposto o aeródromo. Como exemplo, pode-se citar o PAPI LED, que, por conta da sua natureza, poderá exigir algum tipo de aquecedor de lente, independentemente da localização, para garantir que não ocorra o embaçamento das lentes por condensação de água nas lentes.

Entretanto, deve-se considerar que, ao adicionar um dispositivo aquecedor à luminária LED, o consumo de energia irá aumentar, podendo até anular a grande vantagem dessa tecnologia, que é a redução do consumo de energia elétrica.

9.6. MANUTENÇÃO

Embora os LEDs possam durar milhares de horas sob certas condições, a vida útil do LED, e mais importante, da luminária completa, ainda depende da integração do sistema e das condições reais em que a luminária é usada. As condições de aplicação que podem ter um impacto na vida útil esperada da luminária incluem, principalmente, a temperatura da operação, padrões de ciclo "on-off" e umidade.

Como os LEDs não possuem filamentos que quebram ou se deterioram, quando operados em condições normais, eles tendem a durar muito tempo. No entanto, a produção de luz diminui e a cor da luz muda com o tempo, sendo que essa depreciação é mais pronunciada em temperaturas operacionais mais altas. A implicação prática é que, em algum momento, a perda da emissão de luz ou a mudança de cor pode tornar a fonte LED fora das especificações para uma determinada aplicação ou finalidade, ou seja, embora tecnicamente os LEDs ainda estejam operando, eles não serão mais considerados úteis.

Portanto, a longa vida útil do LED, em comparação com a lâmpada incandescente, não deve ser tomada como motivo para se "instalar e esquecer". Um sistema de manutenção preventiva deve ser mantido, pois a luz do LED eventualmente perde sua funcionalidade. Além disso, existem outros fatores que podem reduzir o desempenho, como a contaminação nas lentes das luminárias embutidas.

10. NORMAS RELEVANTES

Além da observação das normas internacionais mencionadas ao longo deste Manual e das normas locais, recomenda-se, de maneira não exaustiva, a observação das seguintes normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas para projeto, instalação e manutenção de sistemas elétricos em aeródromos.

- NBR 7732:2016 — Cabos elétricos para auxílios luminosos em aeroportos, na tensão de 3,6 kV/6 kV;
- NBR 16370:2015 — Auxílios visuais elétricos em aeroportos – Instalação elétrica para iluminação e balizamento em aeroportos – Regulador de corrente constante (RCC);
- NBR 9718:2013 — Transformadores de isolamento para auxílios luminosos em aeroportos;
- NBR 15898:2010 — Cordoalha de cobre mole para fins elétricos em aeroportos;
- NBR 8673:2010 — Aeroporto – Conector (plugue e receptáculo) para cabo elétrico para auxílio luminoso;
- NBR 7733:1996 — Aeroportos – Execução de instalação de cabos elétricos subterrâneos para auxílios luminosos; e
- NBR 12971:1993 — Emprego de sistema de aterramento para proteção de auxílios luminosos em aeroportos – Procedimento.

REFERÊNCIAS

- International Civil Aviation Organization. (2017). DOC 9157 - Aerodrome Design manual, Part 5 - Electrical Systems.*
- Transportation Research Board. (2009). ACRP REPORT 148 – LED Airfield Lighting System Operation and Maintenance.*
- Agência Nacional de Aviação Civil. (2019). RBAC nº 154 – Projeto de Aeródromos.*
- Agência Nacional de Energia Elétrica. (2016). PRODIST– Módulo 3 - Acesso ao Sistema de Distribuição.*

