



ANÁLISE DE VISIBILIDADE E TETO NO AERÓDROMO DE LAGOA SANTA-MG

Aluno Alan Descartes Tobias Tafuri^{1*}, Aluno Jean Pierre Gouvea Ribeiro¹, Ten Cel R/1
QOEMet Adilson Cleômenes Rocha², 2º Ten QOCon MXS Juliane Venturelli Silva Lima¹

1 – Centro de Instrução e Adaptação da Aeronáutica (CIAAR), Lagoa Santa - MG, Brasil

2 – Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA), São José dos Campos - SP, Brasil

RESUMO

As condições meteorológicas de um aeródromo impactam as operações de pouso e decolagem. Neste trabalho, foram analisados dados meteorológicos de visibilidade horizontal e quantidade e altura de nuvens no aeródromo de Lagoa Santa-MG, dos anos de 1991 a 2020, a fim de entender o comportamento dessas variáveis. Essas informações são de interesse do Parque de Material Aeronáutico de Lagoa Santa (PAMA-LS), instalado no aeródromo, para planejar a manutenção e o reparo de aeronaves sob sua responsabilidade. O primeiro voo após esses procedimentos (chamado de voo de experiência) exige condições meteorológicas visuais para execução e deve ser realizado do nascer ao pôr do sol. Além disso, o Parque atende outras aeronaves que precisam chegar até ele, necessariamente, sob tais condições. Os resultados obtidos apontaram a existência de horários e meses mais propícios à ocorrência de restrições a operações de pouso e decolagem. Com o conhecimento adquirido neste estudo, espera-se contribuir para o planejamento das atividades aéreas do PAMA-LS.

Palavras-chave: Climatologia. Voo visual. SBLS. PAMA-LS.

ABSTRACT

Weather conditions at an aerodrome impact landing and take-off operations. In this work, meteorological data of horizontal visibility and quantity and height of clouds at the Lagoa Santa-MG aerodrome, from 1991 to 2020, were analyzed in order to understand the behavior of these variables. This information is of interest to the Aeronautical Material Park of Lagoa Santa (PAMA-LS), installed at the aerodrome, to plan maintenance and repair of aircraft under its responsibility. The first flight after these procedures (called test flight) requires visual meteorological conditions for its execution and must be carried out from sunrise to sunset. In addition, the Park serves other aircraft that need to arrive, necessarily, under such conditions. The results obtained indicated the existence of times and months more favorable to the occurrence of restrictions on landing and take-off operations. With the knowledge acquired in this study, it is expected to contribute to the planning of air activities at PAMA-LS.

Keywords: Climatology. Visual flight. SBLS. PAMA-LS.

INTRODUÇÃO

No aeródromo de Lagoa Santa-MG (SBL) está instalado o Parque de Material Aeronáutico de Lagoa Santa (PAMA-LS), organização militar responsável por manutenção e reparo de aeronaves da Força Aérea Brasileira (FAB) (BRASIL, 2005).

Dentre as aeronaves atendidas, estão o T-25A (Universal) e o T-25C (Universal) (BRASIL, 2005), que realizam voos frequentes de suas sedes para Lagoa Santa. Tais voos, em sua maioria, exigem condições meteorológicas visuais para execução e são realizados no período diurno, em decorrência das especificações técnicas dos equipamentos a bordo do T-25A (ZANUZZI, 2017).

Além disso, o Parque atende outras aeronaves (A-29, C-95, C-97, C-98 e T-27) (BRASIL, 2005), que, após manutenção, são obrigadas, por regulamentação do Comando da Aeronáutica, a realizar voo de experiência sob condições meteorológicas visuais, no período diurno e no local onde foi reparada, possuindo ou não equipamentos que as homologuem a voar por instrumentos (BRASIL, 2017).

Para o PAMA-LS obter conhecimento dos períodos com maiores chances de degradação de condições meteorológicas locais que impossibilitam as operações citadas, torna-se oportuno levantamento climatológico, por meio de coleta de dados atmosféricos de SBL e análise estatística descritiva.

Para tal, foi realizado este estudo, classificado, de acordo com a taxonomia definida por Prodanov e Freitas (2013), como pesquisa aplicada, quanto à natureza, descritiva, quanto aos objetivos, de campo, quanto aos

procedimentos técnicos, e quantitativa, quanto à abordagem do problema.

Foram analisadas as seguintes variáveis meteorológicas: visibilidade horizontal e quantidade e altura de nuvens. Esses dados são registrados a cada hora cheia, regularmente, ou entre elas, em casos específicos de degradação ou melhoria das condições atmosféricas, durante o período de funcionamento do aeródromo (BRASIL, 2021b).

Dito isso, importa ao PAMA-LS identificar quais são os meses e os períodos do dia (do nascer ao pôr do Sol) com maiores possibilidades de restrições meteorológicas e a duração média delas, com fins ao planejamento das operações aéreas citadas.

REFERENCIAL TEÓRICO

Meteorologia e Climatologia

A Meteorologia estuda fenômenos da atmosfera e seu estado momentâneo (ou tempo atmosférico, marcado pelas variáveis: temperatura, pressão, umidade), em um instante e lugar (MENDONÇA; DANI-OLIVEIRA, 2007). Segundo Ayoade (1996, p. 2), pode-se acrescentar esse escopo a dinâmica e a química da atmosfera e as interações entre elas e a superfície terrestre. Tais características mostram a relevância dessa ciência.

Relacionada a ela, a Climatologia é o ramo das ciências naturais dedicado ao estudo dos padrões de comportamento da atmosfera, em

suas interações com as atividades humanas e com a superfície do planeta durante longo período (MENDONÇA; DANI-OLIVEIRA, 2007).

Consoante a Ayoade (1996, p. 2), o clima é “a síntese do tempo em um determinado lugar, durante um período de 30 a 35 anos”. No entanto, de acordo com a Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2018), quando aplicada à aviação, a Climatologia deve observar dados de, pelo menos, 5 anos consecutivos. De toda forma, conhecer os padrões atmosféricos é, então, importante para entender como o tempo meteorológico pode interferir em um ponto específico no tempo cronológico e no espaço.

Classificação climática de Lagoa Santa-MG

Para classificar as variantes climáticas do planeta, tem sido amplamente aceito por estudiosos o método analítico (ou abordagem empírica), que se prende aos valores médios dos elementos do clima, sendo mais utilizado o de Köppen (MENDONÇA; DANI-OLIVEIRA, 2007).

Conforme Sá Júnior *et al.* (2011), a região metropolitana de Belo Horizonte, MG, onde se insere o aeródromo SBLS, possui clima de verão quente e chuvoso, representado pela trigramma Cwa, da classificação climática de Köppen. Em média, a estação chuvosa vai de 3 a 17 de outubro até 22 a 26 de março (SILVA; REBOITA,

2013).

Por outro lado, Reboita *et al.* (2015) afirmam que essa região possui inverno árido. Ao mesmo tempo, Da Silva (2018) acrescenta que, apesar de, no Brasil, o inverno ser propício à formação de nevoeiro, principalmente do nascer do Sol às nove horas local, a circunscrição geográfica em que se encontra Lagoa Santa é pouco afetada por ocorrências dele, havendo maior prevalência em julho. O nevoeiro é um fenômeno meteorológico composto por gotículas de água condensadas próximo a uma superfície e com restrição de visibilidade abaixo de mil metros (WMO, 2007).

No entanto, há outra forma de classificação climática, a genética, que leva em consideração a circulação e a dinâmica atmosférica (MENDONÇA; DANI-OLIVEIRA, 2007). Nesse contexto, Cavalcanti *et al.* (2009) esclarecem que as chuvas de verão da região sudeste são significativas e influenciadas pela Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), sistema meteorológico típico de verão na América do Sul, caracterizado por faixa de nebulosidade associada a uma zona de convergência do escoamento de umidade na baixa troposfera, orientadas no sentido noroeste-sudeste, englobando o centro-sul da Floresta Amazônica e as Regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil.

Além disso, há que se destacar o avanço das frentes frias (limites térmicos entre massas de ar distintas) sobre Minas Gerais (MINUZZI *et al.*, 2006).

Embora encontrem-se, na literatura, obras a respeito dos padrões meteorológicos do sudeste brasileiro, algumas delas detalhando a região central de Minas Gerais, não há estudo específico em relação ao aeródromo de Lagoa Santa.

Estações meteorológicas de superfície

A Organização Meteorológica Mundial (WMO – World Meteorological Organization) coordena a rede mundial de informação meteorológica voltada para os ramos da hidrologia, da climatologia e da meteorologia agrícola, marítima e aeronáutica, formando o Sistema Global Integrado de Observação. Cada ramo desse sistema possui no escopo estações de observação meteorológica, com equipamentos e pessoal técnico específicos para suas necessidades (WMO, 2019).

O Aeródromo de Lagoa Santa possui estação de observação meteorológica à superfície (EMS) pertencente à rede de meteorologia aeronáutica da WMO e subordinada, paralelamente, à Organização da Aviação Civil Internacional (WMO, 2018).

Trata-se de uma estação meteorológica de superfície Classe II (Brasil, 2021b) do modelo Hobeco SH15TAD.

As EMS fornecem dados sobre vento de superfície, visibilidade horizontal, visibilidade no eixo da pista, tempo presente, nebulosidade, temperatura da pista, temperatura do ponto de orvalho e pressão atmosférica (WMO, 2018). As informações geradas pela estação apoiam as operações de pouso e decolagem uma vez que reportam as condições meteorológicas que afetam esses procedimentos.

Para operar em aeródromos, as estações devem ser compostas por equipamentos, sensores e pessoal técnico especializado e devem ser homologadas por órgão competente do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (BRASIL, 2021a), que fiscaliza esses quesitos a fim de garantir a precisão do serviço prestado. Também devem operar durante o horário de funcionamento do órgão de serviço de tráfego aéreo que atender o aeródromo (BRASIL, 2021a).

Variáveis meteorológicas na aviação

As condições atmosféricas são o conjunto de elementos, ou variáveis, possíveis de serem quantificadas ou qualificadas pelo homem a fim de descrever o tempo atmosférico e, na aviação,

definir o procedimento de navegação usado para pousos e decolagens (WMO, 2007). Na Tabela 1, são exibidas as variáveis medidas em uma EMS aeronáutica e os limites de precisão de seus dados.

Tabela 1 – Precisão operacional das medidas ou observações de variáveis meteorológicas

Variável meteorológica		Precisão operacional
Vento médio à superfície	direção	± 10°
	velocidade	± 1 kt até 10 kt ± 10% quando acima de 10 kt
	variações	± 2 kt, em termos longitudinais e componentes laterais
Visibilidade		± 50 m até 600 m ± 10% entre 600 e 1.500 m ± 20% quando acima de 1.500 m
Alcance Visual na Pista (RVR)		± 10 m até 400 m ± 25 m entre 400 e 800 m ± 10% quando acima de 800 m
Nuvens	quantidade	± 1 oitavo
	altura	± (33 ft) até (330 ft) ± 10% quando acima de (330 ft)
Temperaturas do ar e do ponto de orvalho		± 1 °C
Umidade relativa do ar		± 1%
Pressão	QNH e QFE	± 0,5 hPa
Precipitação		± 0,1 mm
As precisões acima devem ser compreendidas como objetivos a serem alcançados na Observação Meteorológica.		

Fonte: Brasil (2021b).

Dentre as variáveis da Tabela 1, este trabalho estudou a visibilidade e a quantidade e altura de nuvens. Isso foi feito porque elas definem o tipo de operação do aeródromo (quando são levados em consideração critérios de operacionalidade relacionados à meteorologia).

O valor da visibilidade horizontal informa a distância entre um observador e o ponto mais distante, na direção horizontal, capaz de ser visualizado a olho nu. Ela é medida em todas as

direções (BRASIL, 2021b).

Para a quantidade de nuvens, o céu é dividido em oitavos e cada camada de nuvens observada é quantificada. A altura representa a distância vertical entre a superfície do terreno e a base da camada (BRASIL, 2021b).

O voo visual

A fim de definir o que são condições meteorológicas de voo visual, estabelecidas e informadas aos aeronavegantes por meio do reporte meteorológico regular de aeródromo (METAR) ou do reporte meteorológico especial de aeródromo (SPECI) (BRASIL, 2021b), a Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO, 2005), consubstanciada pela Instrução do Comando da Aeronáutica 100-12 (BRASIL, 2016), estabelece os limites mínimos de visibilidade horizontal igual a 5000 metros e de teto (altura da base das nuvens que cubram, pelo menos, 5/8 do céu) igual a 450 metros.

Quando, em um aeródromo, as condições de visibilidade e teto se tornam, respectivamente, inferiores a 5000 metros e 450 metros, é dito que ele está operando abaixo dos mínimos visuais. Para essa definição, deve ser utilizada a visibilidade horizontal predominante, representativa do aeródromo e de sua vizinhança (BRASIL, 2021b).

Neste trabalho quando se tratou de condições para voo visual, referiu-se única e exclusivamente às condições meteorológicas citadas no parágrafo anterior. Não foram discutidos o desempenho das aeronaves nem os tipos de sistemas de navegação aérea instalados em aeródromos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Amostra

Foram solicitados, via e-mail corporativo da Força Aérea Brasileira, ao Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA), os seguintes dados arquivados no Banco de Dados Climatológicos (BDC): visibilidade horizontal e quantidade e altitude da cobertura de nuvens (teto) da Estação Meteorológica de Superfície de SBLS (EMS-LS), dos anos de 1991 a 2020.

O ICEA disponibilizou uma planilha digital com 168.884 linhas. Cada linha representava uma observação meteorológica e continha os dados de visibilidade e teto identificados pelo ano, mês, dia, hora e minuto da observação deles.

O horário utilizado para identificar os dados neste estudo foi o oficial de Brasília– fuso horário P (BRASIL, 2008). Não foi usado o horário brasileiro de verão. Assim, quando foi escrito 6 h ou 6 P, por exemplo, a informação se referia às 6

horas de Brasília.

Consideraram-se apenas as observações entre 6 h e 18 h, visto que o trabalho focou os horários do nascer ao pôr do Sol, em decorrência das exigências para o voo de experiência (BRASIL, 2017). Portanto, foram consideradas 137.266 observações do banco de dados original.

Cada dia foi dividido em doze períodos de sessenta minutos, cada um identificado pelo número da hora cheia. O primeiro deles começou às 6 h e terminou às 6 h 59 min (período das 6 h). O último começou às 17 h e terminou às 17 h 59 min (período das 17 h).

As linhas de dados das 18 h serviram de apoio para os cálculos das horas anteriores, no entanto a duração das condições meteorológicas contidas naquelas linhas não foi contabilizada.

Delineamento de pesquisa

De acordo com a taxonomia definida por Prodanov e Freitas (2013), este trabalho é classificado: quanto à natureza, como uma pesquisa aplicada; quanto aos objetivos, como descritiva; quanto aos procedimentos técnicos, como de campo; e, quanto à abordagem do problema, como quantitativa.

Análise de dados

Foram conduzidas análises descritivas com o auxílio do programa editor de planilhas eletrônicas Microsoft Excel 365.

Considerou-se que havia restrições para pouso ou decolagem quando a visibilidade horizontal estivesse abaixo de 5000 metros ou o teto fosse menor que 450 metros. Assim, o aeródromo estava operando abaixo dos mínimos visuais.

Para tanto, foi criado um índice para determinar essa condição (Ind_{hi}). Ele verificava se, no horário analisado, o aeródromo encontrava-se com restrição ($Ind_{hi} = 1$) ou não ($Ind_{hi} = 0$).

As análises foram conduzidas para as taxas e as durações de restrições de visibilidade ou de teto.

As taxas de restrição de visibilidade ou de teto, foram inicialmente analisadas unidimensionalmente, a fim de obter a taxa de restrição de cada variável meteorológica por hora ou por mês (Gráficos 1, 2, 3 e 4).

Seja d_{hi} o tempo de duração de restrição, em minutos (referente ao horário h , $h = 6, \dots, 17$, do conjunto das horas de observações, e ao dia i , $i = 1, \dots, n$) do conjunto de todos os dias observados ao longo da série histórica. Definiu-se, então, a taxa de restrição para um determinado horário h , $taxa_h$, como:

$$taxa_h = \frac{\sum_i d_{hi}}{n * 60} \quad (1)$$

tal que:

$taxa_h$ = taxa de ocorrência por hora h ,

d_{hi} = duração, na hora h , em cada dia i ,

i = dia do conjunto de todos os dias da série histórica e

n = número total de dias observados.

Isto é, a $taxa_h$ foi obtida somando-se a duração de restrição, observada no horário h , para todos os dias, ao longo dos trinta anos, e dividindo o resultado pelo total de minutos observados relativos ao horário h .

De maneira similar, seja $d_{h|m}$ o tempo de duração de restrição, em minutos (referente a cada hora h discriminada por mês m , $m = 1, \dots, 12$) e k , $k = 1, \dots, n$, o dia do subconjunto de dias do mês m observado ao longo da série histórica, a taxa de restrição para esse mês, $taxa_m$, foi calculada por:

$$taxa_m = \frac{\sum_k \sum_h (d_{h|m})_k}{n * 12 * 60} \quad (2)$$

tal que:

$taxa_m$ = taxa de ocorrência por mês m ,

$d_{h|m}$ = duração, na hora h , discriminada por mês m ,

k = dia do subconjunto de dias do mês m ao longo da série histórica e

n = número total de dias k observados.

Ou seja, para calcular as taxas por mês, todos os minutos de restrição dentro de cada mês foram somados e, então, divididos pelo total de minutos do respectivo mês ao longo dos trinta

anos.

Em seguida, foram analisadas as restrições conjuntamente, isto é, restrição de visibilidade ou teto. Para essa análise conjunta de restrições, foi calculada a taxa de restrição não só por hora e por mês (Gráficos 5 e 6), de maneira similar às Equações (1) e (2), mas também por hora discriminada por mês (Gráfico 7), consoante à Equação (3):

$$taxa_{h|m} = \frac{\sum_k (d_{h|m})_k}{n * 60} \quad (3)$$

tal que:

$taxa_{h|m}$ = taxa de ocorrência por hora h discriminada por mês m ,

$d_{h|m}$ = duração, na hora h , discriminada por mês m ,

k = dia do subconjunto de dias de um mesmo mês m ao longo da série histórica e n = número total de dias k observados.

Isto é, todos os minutos de restrição dentro de cada hora discriminada por mês foram somados e, então, divididos pelo total de minutos de cada uma dessas horas ao longo dos trinta anos.

Por fim, considerando apenas as observações em que o aeródromo estava operando abaixo dos mínimos visuais, foi mensurada a duração mediadas restrições a contar de cada hora discriminada por mês (Gráfico 8).

Considere d_{hka} duração, em minutos, na hora h do k -ésimo dia do mês m ao longo dos 30

anos, e seja $Ind_{hi} = 1$. A duração total, DT_{hk} , da restrição a contar da hora h do dia k foi calculada conforme a equação abaixo:

$$DT_{hk} = \sum_{j=h}^{17} d_{jk} \cdot \prod_{l=h}^j Ind_{lk} \quad (4)$$

tal que:

DT_{hk} = duração de restrição a contar da hora h no dia k ,

Ind_{lk} = indicador de restrição para a hora l ($l \geq h$) no dia k ,

d_{jk} = duração de restrição para a hora j ($j \geq h$) no dia k e

k = dia do subconjunto de dias do mês m ao longo da série histórica.

Isto é, para cada horário h , $h = 6, \dots, 17$, as durações foram obtidas somando os minutos de restrição até que cessasse a restrição ou, caso a restrição se estendesse de forma contínua, até as 17 h.

A duração total média de todos os casos de restrições que ocorreram a contar da hora h , discriminada por mês m , $\overline{DT_{h|m}}$ (Gráfico 8), foi calculada como média simples, ao longo dos dias k dos trinta anos, de acordo com a seguinte equação:

$$\overline{DT_{h|m}} = \frac{\sum_k DT_{hk}}{\sum_k Ind_{hk}} \quad (5)$$

tal que:

$\overline{DT_{h|m}}$ = duração média de restrição a contar da hora h discriminada por mês m ,

DT_{hk} = duração de restrição a contar da hora h no dia k ,

Ind_{hk} = indicador de restrição para a hora h no dia k e

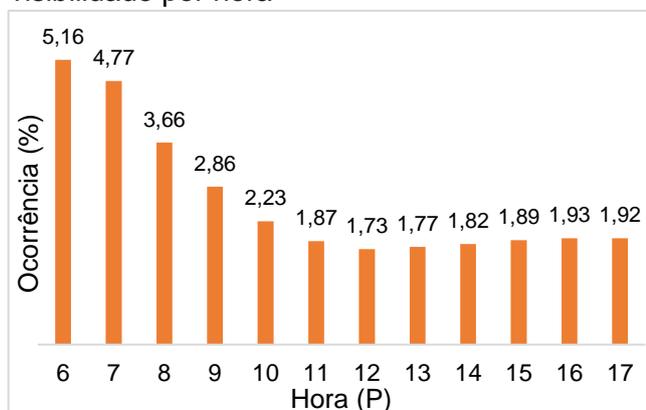
k = dia do subconjunto de dias do mês m ao longo da série histórica.

Ou seja, a duração média foi calculada dividindo a soma dos minutos de restrição a contar da hora h discriminada por mês, pelo número total de dias em que houve restrição na hora h do mês m ao longo dos trinta anos.

RESULTADOS

Restrições de visibilidade

Gráfico 1 – Taxa de ocorrência de restrição de visibilidade por hora

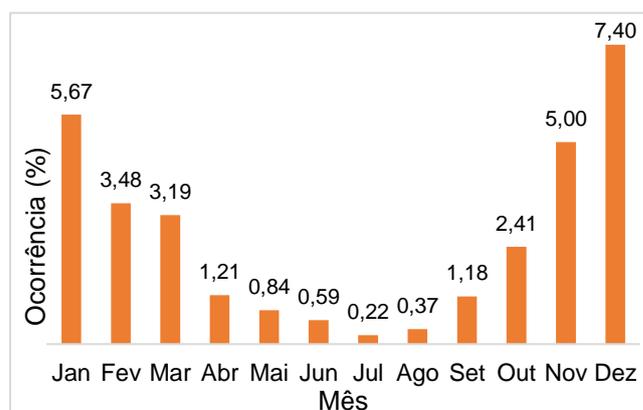


Fonte: os autores.

Observou-se que as maiores taxas de restrição de visibilidade ocorreram no início da manhã (Gráfico 1). Às 6 h houve a maior ocorrência de restrições para uma mesma hora ao longo dos anos (5,16%). A partir das 7 h, ocorreu decaimento da taxa até a estabilização, a partir de 11 h, quando passou a variar entre 1,73% e 1,93%.

Percebeu-se que as maiores taxas de restrição de visibilidade ocorreram nos meses de outubro a março, sendo dezembro o mais afetado (7,40%). Os meses de meio de ano (de abril a setembro) apresentaram as menores taxas de ocorrência (Gráfico 2). O mês de julho (o menos afetado do ano – 0,22%) apresentou taxa de restrição onze vezes menor que outubro (o menos afetado entre os meses com as maiores taxas – 2,41%).

Gráfico 2 – Taxa de ocorrência de restrição de visibilidade por mês

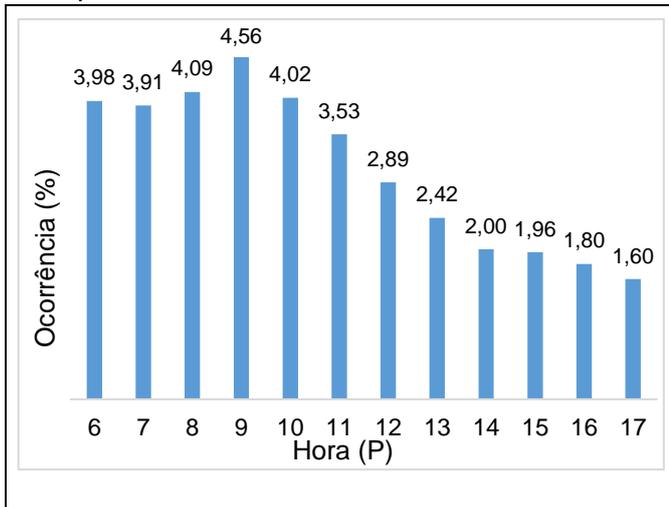


visibilidade por mês

Fonte: os autores.

Restrições de teto

Gráfico 3 – Taxa de ocorrência de restrição de teto por hora

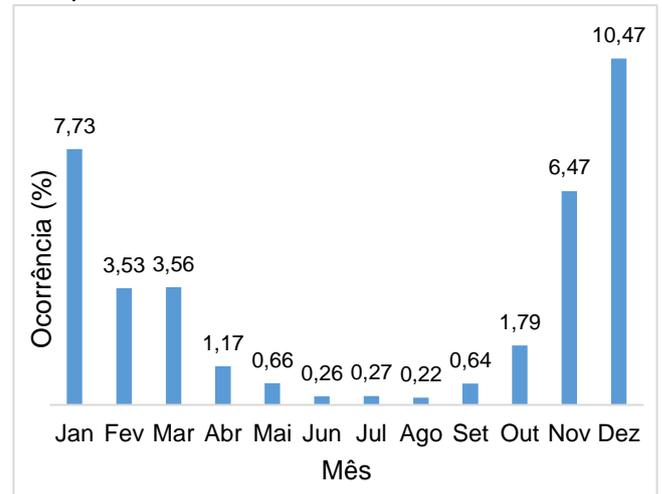


Fonte: os autores.

Em relação ao teto, as maiores taxas de restrição ocorreram no período da manhã, com a maior taxa, igual a 4,59%, no período das 9h (Gráfico 3). A partir desse horário, as taxas sofreram redução até o final do período estudado.

As maiores taxas de restrição de teto ocorreram de novembro a março, sendo dezembro o mais afetado (10,47%). Os meses de meio de ano (de abril a outubro) apresentaram as menores taxas. O mês de agosto (o menos afetado do ano – 0,22%) apresentou taxa de restrições dezesseis vezes menor que fevereiro (o menos afetado entre os meses com as maiores taxas – 3,5%).

Gráfico 4 – Taxa de ocorrência de restrição de teto por mês

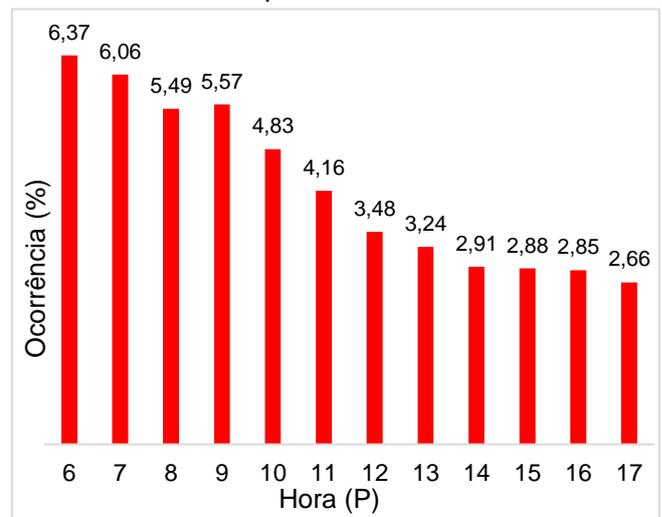


Fonte: os autores.

Restrições de visibilidade ou teto

As análises desta seção trataram das porcentagens de restrição da operação visual sem distinguir as causas. Ou seja, sem especificar se elas eram decorrentes de degradação de visibilidade ou teto.

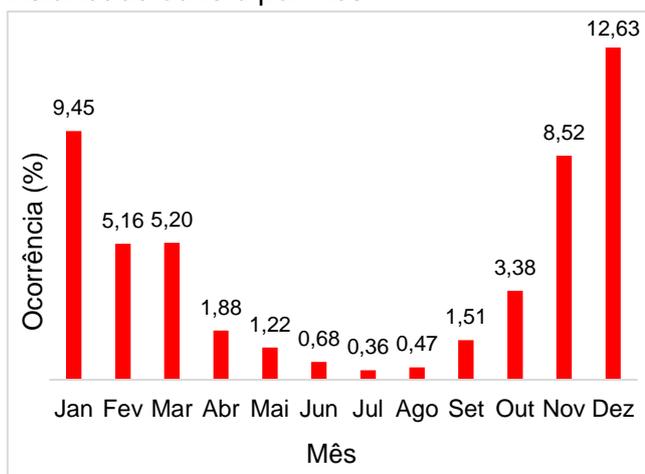
Gráfico 5 – Taxa de ocorrência de restrição de visibilidade ou teto por hora



Fonte: os autores

Foi observado que as restrições ao voo visual ocorreram principalmente no início da manhã (Gráfico 5). O período das 6 h foi o mais afetado (6,37%). A partir dele, houve queda até que, às 9 h, ocorreu repique (5,57%) antes de reiniciar a queda, até atingir estabilização após as 14 h.

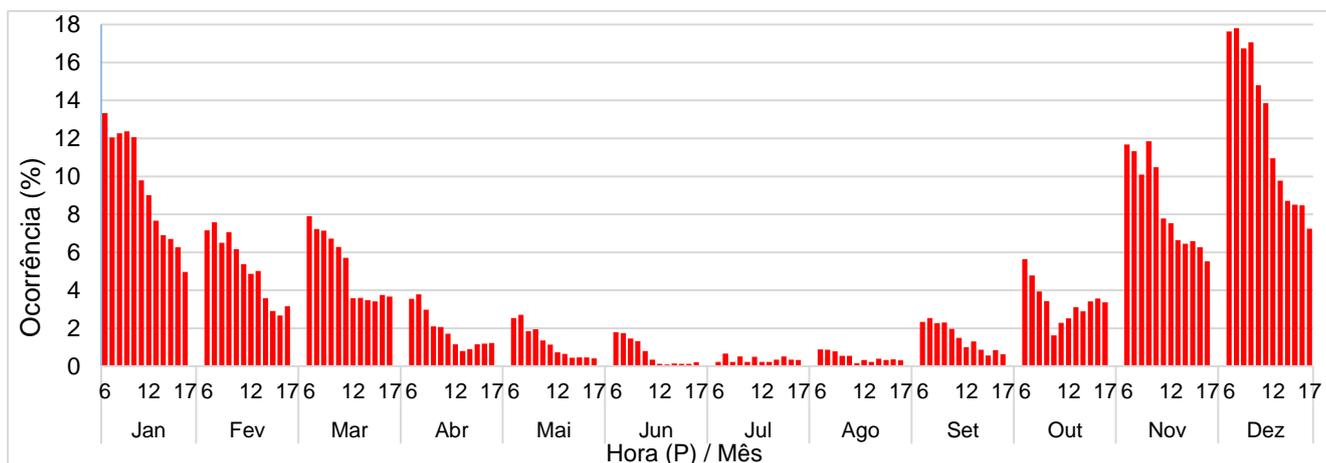
As maiores taxas de restrição de visibilidade ou teto ocorreram de outubro a março, sendo dezembro o mais afetado (12,63%). Nos meses de meio de ano (de abril a setembro), houve as menores taxas (Gráfico 6). O mês de julho (o menos afetado do ano – 0,36%) apresentou taxa nove vezes menor que outubro (o menos afetado entre os meses com as maiores taxas – 3,38%). Gráfico 6 – Taxa de ocorrência de restrição de visibilidade ou teto por mês



Fonte: os autores.

Foram analisadas, também, as restrições de visibilidade ou teto, discriminando as horas por mês (Gráfico 7). Observou-se padrão similar das curvas dos horários em cada mês, com maiores taxas às 6 h (janeiro, março, junho, agosto e outubro), 7 h (fevereiro, abril, maio, julho, setembro e dezembro) ou 9 h (novembro), seguida de queda durante a manhã, até estabilização no período da tarde. Na maior parte dos meses (janeiro, fevereiro, maio, setembro e dezembro), a queda da manhã foi interrompida por um repique às 9 h, antes de reiniciar o declive. No mês de julho, não houve o mesmo padrão de declive e estabilização, mas sim tendência à estabilização durante todo o período.

Gráfico 7 – Taxa de ocorrência de restrição de visibilidade ou teto por hora discriminada por mês



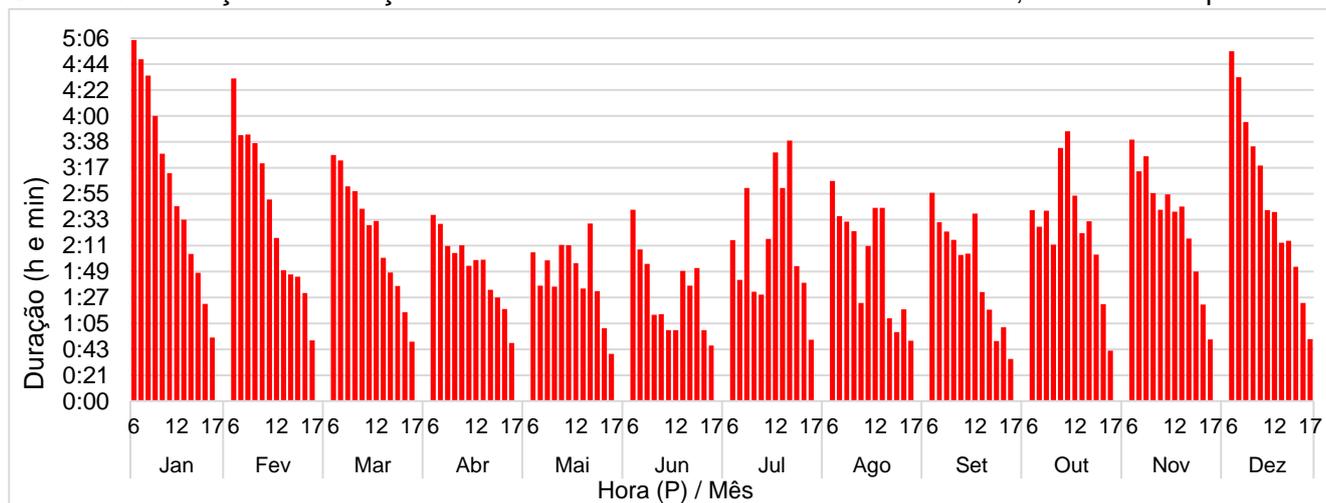
Fonte: Os autores.

No entanto, embora as curvas mensais apresentassem comportamentos semelhantes, observaram-se diferenças nas amplitudes da taxa de restrição entre os horários do dia. As maiores amplitudes foram notadas entre os meses de outubro a março. De fato, a maior taxa de restrição em dezembro foi de 17,8% às 7 horas e a menor taxa foi de 7,25% às 17 h (diferença de 10,55 pontos percentuais). Nos meses de meio de ano (de abril a setembro), houve as menores amplitudes. No mês de julho, a maior taxa de restrição foi de 0,67% às 7 horas e a menor taxa foi de 0,22% às 12 h (diferença

de 0,45 pontos percentuais).

Foram, também, calculadas as durações médias das restrições para cada hora, discriminada por mês, a fim de estimar por quanto tempo as restrições continuaram presentes (Figura 8). No entanto, as comparações devem ser realizadas entre a mesma hora de meses diferentes, e não entre horas diferentes. Como as medições foram feitas até as 18 h, a amostra analisada a contar das 6 h (18 - 6 = doze horas analisadas) foi maior que das 17 h (18 - 17 = uma hora analisada), por exemplo.

Gráfico 8 - Duração da restrição de visibilidade ou teto a contar de cada hora, discriminada por mês



Fonte: os autores

DISCUSSÃO

Quanto às ocorrências de restrições

Em relação aos meses mais afetados por restrições de visibilidade ou teto (Gráfico 6), os resultados apontaram que o padrão do tempo meteorológico do aeródromo (com maiores taxas de restrições de outubro a março) segue o estabelecido por Sá Júnior *et al.* (2011) e Silva e Reboita (2013), quando afirmam que a região possui verão quente e chuvoso. Essa relação foi feita uma vez que fenômenos meteorológicos associados a precipitação de água (líquida ou solidificada) podem provocar restrição de visibilidade ou teto (BRASIL,2021).

Quanto aos meses de meio de ano (abril a setembro) poder-se-iam esperar restrições causadas por nevoeiros em dias mais frios (WMO,2007). No entanto, os resultados

apontaram para as afirmações de Da Silva (2018) a respeito de a região geográfica em que se localiza Lagoa Santa ser pouco afetada por esse fenômeno meteorológico. Para sustentar o argumento, as restrições de todos os meses de julho–identificado por Da Silva (2018) como o mês de maior taxa de nevoeiros no Brasil somaram apenas 37 h 44 min neste estudo (0,7% de todas as registradas).

Acerca das horas do dia, o período da manhã foi o menos adequado ao voo visual(Gráfico 5). Por exemplo, durante os trinta anos analisados, às 6h, houve 641 h 31 min (6,37%) restritos a esse tipo de voo, contra 9.429 h propícias a ele. Entretanto, às 12h (o intervalo menos adequado da tarde), houve somente 365 h (3,48%) restritas, contra 10.046 h propícias. A partir desse momento, as taxas continuaram diminuindo até as 17 h (2,66%).

Assim, os períodos menos indicados para o voo visual foram de 6 h a 11 h, de outubro a março, enquanto os mais indicados foram de 12 h às 17h, de abril a setembro (Gráfico 7). Isso deve ser levado em consideração nos planejamentos das missões aéreas do PAMA-LS.

Quanto à duração

O estudo da duração média das restrições a partir de cada hora discriminada por mês (Gráfico 8) foi importante para estimar a persistência delas, com fins ao planejamento dos voos.

Os resultados foram representativos para as primeiras horas do período estudado, que tiveram amostras de duração de até doze horas. Porém, para as últimas horas, não, pois elas possuíam amostras mais curtas, em decorrência do período de análise adotado no estudo (no máximo até as 18 h).

Por exemplo, para os eventos cronometrados a contar do período de 17 h (Gráfico 5), a duração de 69,6% deles pode ter sido subestimada, visto que duraram 60 minutos, mas não houve a informação se cessaram ou persistiram a partir das 18 h.

Por outro lado, para os eventos cronometrados a contar do período de 6 h (Gráfico 5), a duração de apenas 4,6% deles

pode ter sido subestimada pelo mesmo motivo, pois duraram até as 18 h. E, para os eventos cronometrados a partir de 12 h, esse erro pode ter ocorrido em 14,7% das amostras.

Além disso, nos meses de meio de ano, independentemente do horário (Gráfico 6), como as restrições foram em número reduzido em comparação aos demais meses, a amostra deles não pode ser considerada representativa (todos os meses de julho, o menos afetado, somaram 45 ocorrências, enquanto outubro, o de menor taxa entre os meses mais afetados, somou 472, e janeiro, o mais afetado, somou 1.183). Por exemplo, às 14 h do mês de julho (Gráfico 8), a duração média das restrições foi igual a 3 h 40 min, mas houve apenas três restrições dentro dessa hora durante os trinta anos.

Assim, como as maiores taxas de restrição ocorreram entre 6 h e 11 h, de outubro a março (Gráfico 7), e a amostra desses horários foi significativa para os cálculos de média de duração (Gráfico 8), este trabalho estabeleceu como seguras as estimativas de duração de restrições para os eventos cronometrados a contar de qualquer momento entre as 6 h e 12 h, nos meses de outubro a março.

Sugestões para estudos futuros

Foi realizada uma comparação entre as

curvas dos gráficos 1 e 3, na qual se notou que, conforme diminuía as possibilidades de restrição de visibilidade entre 6 h e 9 h, aumentavam as chances de restrição de teto, até que, a partir de 9 h, ambas as curvas declinavam.

A partir disso, novos estudos podem ser realizados a fim de descobrir as causas desse padrão. É possível que, como os nevoeiros tendem a dissipar até as 9 h e, na dissipação, possam descolar da superfície e tornar-se nuvens baixas (DA SILVA, 2018), as restrições de visibilidade tenham se tornado restrições de teto e, em seguida, o aquecimento da atmosfera pelo Sol tenha causado a diminuição de ambas, durante o período mencionado.

Dito isso, recomendam-se futuras pesquisas explicativas, conforme a taxonomia de Prodanov e Freitas (2013), a fim de estabelecer relações de causalidade entre os apontamentos deste trabalho e os fatores que podem interferir neles. Citam-se as influências da dinâmica da atmosfera (CAVALCANTI *et al.*, 2009; MENDONÇA; DANI-OLIVEIRA, 2007; MINUZZI *et al.*, 2006) e o relevo e hidrografia local (o aeródromo localiza-se sobre um morro, e há uma lagoa de grandes proporções em seu entorno).

CONCLUSÕES

Após análise de informações meteorológicas das 6 h às 18 h do aeródromo de Lagoa Santa-MG, concluiu-se que os meses de outubro a março foram os mais propícios a apresentar restrições, de visibilidade ou teto, aos voos visuais. Esses dados foram ao encontro da literatura (SÁ JÚNIOR *et al.*, 2011; SILVA; REBOITA, 2013).

As restrições ocorreram, principalmente, durante a manhã. As horas mais afetadas foram 6 h (janeiro, março, junho, agosto e outubro), 7 h (fevereiro, abril, maio, julho, setembro e dezembro) e 9 h (novembro).

Em relação às durações médias de restrição, por hora discriminada por mês, observou-se que no período entre 6 h e 12 h, de outubro a março, houve confiabilidade nos resultados e que as maiores durações ocorreram para as restrições cronometradas a contar das 6 h.

Pesquisas de caráter explicativo são necessárias para estabelecer correlação de causa e efeito entre as restrições e fatores ambientais da localidade de Lagoa Santa-MG.

Este estudo foi significativo uma vez que estabeleceu os períodos menos propícios ao voo visual, podendo servir de apoio ao Parque de Material Aeronáutico de Lagoa Santa no planejamento de operações aéreas de interesse.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Gebrüder Borntraeger, Stuttgart**, v. 22, n.6, p.722-728, jan. 2014. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507

AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 12. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

BRASIL, 2005. Comando da Aeronáutica. Diretoria de Material Aeronáutico e Bélico. Portaria DIRMAB nº 116/DGCEA, de 11 de outubro de 2005. Aprova a edição da RICA 21-87 "Regimento Interno do Parque de Material Aeronáutico de Lagoa Santa". **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 205, 01nov. 2005.

BRASIL, 2008. Ministério da Defesa. Gabinete do ministro. Portaria DIRMAB nº 513/EMD/MD, de 26 de março de 2008. Aprova o Manual de Abreviaturas, Siglas, Símbolos e Convenções Cartográficas das Forças Armadas – MD33-M-02 (3ª Edição/2008). **Diário Oficial da União**, Brasília, 27 mar. 2008.

BRASIL, 2016. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Portaria DECEA nº 204/DGCEA, de 8 de novembro de 2018. Aprova a modificação da ICA 100-12 "Regras do Ar". **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 212, 05 dez. 2018.

BRASIL, 2017. Comando da Aeronáutica. Diretoria de Material Aeronáutico e Bélico. Portaria DIRMAB Nº 78/PLON-2, de 05 de julho de 2017. Aprova a reedição do MCA 66-7 "Manual de Manutenção: Doutrina, Processos e Documentação de Manutenção". **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 118, de 12 jul. 2017.

BRASIL, 2021. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Portaria DECEA Nº 30/SDAD, de 02 de março de 2021. Aprova a reedição do Regimento Interno do Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 50, de 18 mar. 2021a.

BRASIL, 2021. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Portaria DECEA Nº 63/DGCEA, de 16 de abril de 2021. Aprova a reedição da ICA 105-15, Instrução sobre a organização e operação das Estações Meteorológicas de Superfície. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 77, de 28 abr. 2021b.

CAVALCANTI, I. F. A. *et al.* **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

DA SILVA, A. O. **Nevoeiro e Nuvem Estratos no Brasil**: observação, sensoriamento remoto e simulação numérica. 2018. Monografia (Curso de Doutorado em Ciências) – Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

GUEDES, T. G. *et al.* **Estatística Descritiva**, projeto de ensino aprendendo a fazer estatística. Maringá, PR: Universidade Estadual de Maringá, 2005. Disponível em: http://www.each.usp.br/rvicente/Guedes_et_al_Estatistica_Descritiva.pdf. Acesso em 19 set. 2021.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. *Annex 2 to the Convention on International Civil Aviation. Rules of the Air*. 10. ed. Montreal: ICAO, 2005. Disponível em: https://www.icao.int/Meetings/anconf12/Document%20Archive/an02_cons%5B1%5D.pdf. Acesso em: 23 mar. 2021.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MINUZZI, R. B. *et al.* Estudo climático do comportamento do período chuvoso no estado de Minas Gerais. **Revista Ceres**, Viçosa, v.53, n.308, p.266-275, mar./abr. 2006. Disponível em: www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/article/download/3139/1034. Acesso em: 27 mar. 2021.

PRODANOV, C. C. FREITAS, E. C. **Metodologia do Trabalho Científico**: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico. Novo Hamburgo: Universidade Feevale, 2013.

REBOITA, M. S. *et al.* Aspectos climáticos do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, ano 11, n.17, p.206-226, jul./dez. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v17i0>. Acesso em: 23 mar. 2021.

SÁ JÚNIOR, A. de *et al.* *Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil*. **Springer-Verlag, Theor Appl Climatol**.108, p.1-7, ago. 2012. DOI 10.1007/s00704-011-0507-8

DA SILVA, E. D.; REBOITA, M. S. Estudos da precipitação no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, ano 9, n.13, p.120-136, jul./dez. 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v11i0>. Acesso em: 23 mar. 2021.

WMO nº 1390. Education and Training Programme 20 – **Aviation Hazards**. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization (WMO), 2007. Disponível em: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=10774. Acesso em: 07 mar. 2021.

WMO nº 49. Technical Regulations, Basic Documents nº 2, volume I – **General Meteorological Standards and Recommended Practices**. Geneva 2, Switzerland: World Meteorological Organization (WMO), 2019. Disponível em: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10113. Acesso em: 26 set. 2021.

WMO nº 49. Technical Regulations, Basic Documents nº 2, volume II – **Meteorological Service for International Air Navigation**. Geneva 2, Switzerland: World Meteorological Organization (WMO), 2018. Disponível em: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10733. Acesso em: 26 set. 2021.

ZANUZZI, L. **Manutenção e Falta de Suprimento no T-25 Universal da Academia da Força Aérea Brasileira**. 2017. Monografia (Curso de Graduação em Ciências Aeronáuticas) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2017.

APÊNDICE A – IMAGENS ILUSTRATIVAS DA PLANILHA DO BANCO DE DADOS

DIA	MES	ANO	HORA	MINUTO	duração	visibilidade	quantidade de nuvem_1	altitude de nuvem_1	quantidade de nuvem_2	altitude de nuvem_2	quantidade de nuvem_3	altitude de nuvem_3
4	2	2018	18	0	0:00:00	300	5	18	5	90	1	105
5	2	2018	6	0	0:20:00	140	4	15	5	39	8	240
5	2	2018	6	20	0:40:00	100	4	12	5	45	8	240
5	2	2018	7	0	1:00:00	80	5	15	5	45	8	240
5	2	2018	8	0	1:00:00	80	5	6	6	40	8	240
5	2	2018	9	0	1:00:00	150	4	12	5	45	8	240
5	2	2018	10	0	0:18:00	300	5	15	5	51	6	120
5	2	2018	10	18	0:42:00	500	4	6	5	51	5	81
5	2	2018	11	0	1:00:00	1000	2	6	4	36	5	70
5	2	2018	12	0	1:00:00	800	4	21	5	45	5	90
5	2	2018	13	0	1:00:00	1000	5	24	4	51	8	240
5	2	2018	14	0	1:00:00	2000	5	45	3	75	8	250
5	2	2018	15	0	1:00:00	2000	3	30	4	51	2	75
5	2	2018	16	0	1:00:00	1000	1	45	3	75	8	270
5	2	2018	17	0	1:00:00	600	3	30	3	81	8	270

DADOS BRUTOS

vis_restr_mes

vis_restr_hora

vis_restr_mes_hora

teto_restr_mes

teto_restr_hora

teto_restr_mes_hora

v...

+

↓

↑

**APÊNDICE A – IMAGENS ILUSTRATIVAS DA PLANILHA DO BANCO DE DADOS
(CONTINUAÇÃO)**

ind_vis	ind_hora	Ind_teto_1	Ind_teto_2	Ind_teto_3	Ind_teto_total	Abaixo dos mínimos
115		1	0	0	1	1
16		0	1	0	1	1
16		0	0	0	0	1
16		1	0	0	1	1
16		1	1	0	1	1
19		0	0	0	0	1
19		1	0	0	1	1
09		0	0	0	0	0
09		0	0	0	0	0
09		0	0	0	0	0
012		0	0	0	0	0
012		1	0	0	1	1
012		0	0	0	0	0
015		0	0	0	0	0
015		0	0	0	0	0
015		0	0	0	0	0
vis_restr_mes	vis_restr_hora	vis_restr_mes_hora	teto_restr_mes	teto_restr_hora	teto_restr_mes_h	

