

ESTUDO DE CASO 3

AEROPORTO DE GUARULHOS

Objetivos

Apresentar a resolução de exercícios propostos aplicando os conhecimentos relacionados com o objetivo de expressar valores numéricos à capacidade de pista de um aeroporto;

Entender o método de cálculo da capacidade de pista como norteador das conclusões quantitativas relativas à capacidade de pista de um aeroporto.

Roteiro

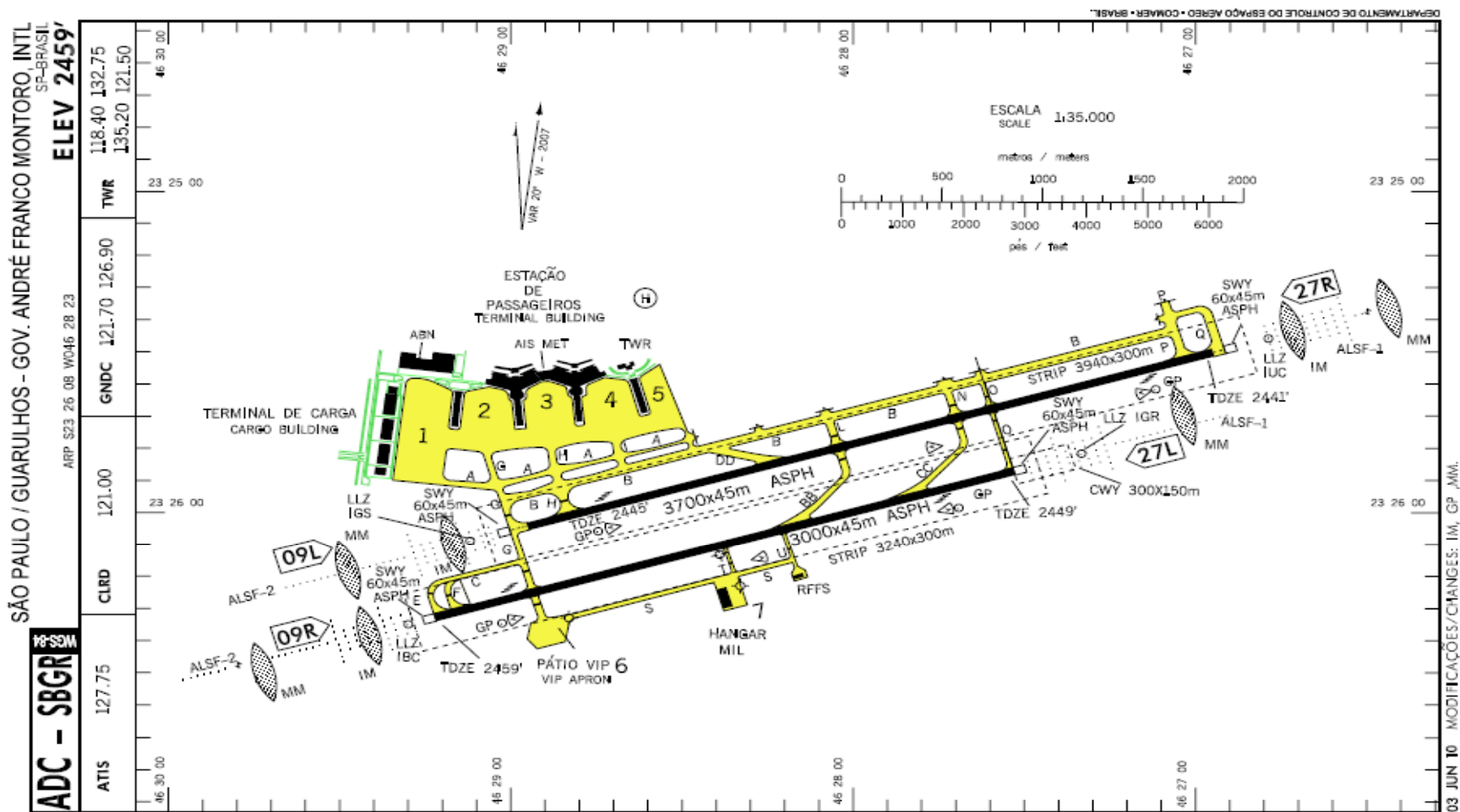
Resolução de exercícios propostos.

Operação RADAR:

- capacidade das pistas isoladas; e
- capacidade do sistema de pistas aplicando separações de 3 e 5 NM entre as aproximações.

TERMINAL

A ADC abaixo representa o conjunto de pistas do aeródromo de Guarulhos:



Modus Operandi:

Padrão de operação da TWR-GR com a utilização plena do sistema de pistas: RWY09L/27R para decolagens e RWY09R/27L para pousos.

A distância entre os eixos das pistas do Aeroporto de Guarulhos não permite a realização independente de pousos e decolagens. Tal característica obriga que as aeronaves que decolam aguardem alinhadas a certeza da realização do pouso da aeronave que aproxima.

O equipamento RADAR é utilizado pelo APP-SP como ferramenta de auxílio à prestação do serviço de controle de tráfego aéreo para o aeródromo em tela;

Modus Operandi:

Em condições de visibilidade $\geq 5\text{km}$ e teto $\geq 1000\text{ft}$, de acordo com o AIP-BRASIL, poderá ser empregada a separação de 3 NM para os pousos na pista 09R/09L ou na pista 27L/27R, podendo ser autorizada entre eles a decolagem de outra aeronave pela pista paralela.

Dados coletados no aeródromo:

RWY 09L

a) Tempo médio de ocupação de pista durante o pouso RWY 09L (seg):

CAT A = 41 CAT B = 50 CAT C = 57 CAT D = 68

b) Tempo médio de ocupação de pista durante a decolagem RWY 09L (seg) (ingresso +corrida):

CAT A = 106 CAT B = 103 CAT C = 102 CAT D = 125

RWY 27R

a) Tempo médio de ocupação de pista durante o pouso RWY 27R (seg):

CAT A = 41 CAT B = 66 CAT C = 64 CAT D = 66

b) Tempo médio de ocupação de pista durante a decolagem RWY 27R (seg) (ingresso +corrida):

CAT A = 106 CAT B = 104 CAT C = 102 CAT D = 125

Dados coletados no aeródromo:

RWY 09R

a) Tempo médio de ocupação de pista durante o pouso RWY 09R (seg):

CAT A = 41 CAT B = 62 CAT C = 55 CAT D = 61

b) Tempo médio de ocupação de pista durante a decolagem RWY 09R (seg) (ingresso +corrida):

CAT A = 106 CAT B = 89 CAT C = 91 CAT D = 111

RWY 27L

a) Tempo médio de ocupação de pista durante o pouso RWY 27L (seg):

CAT A = 67 CAT B = 94 CAT C = 76 CAT D = 73

b) Tempo médio de ocupação de pista durante a decolagem RWY 27L (seg) (ingresso +corrida):

CAT A = 106 CAT B = 89 CAT C = 91 CAT D = 111

Dados coletados no aeródromo:

Tempo de voo entre o OM e a THR 09R (seg):

CAT A = 141 CAT B = 146 CAT C = 127 CAT D = 120

Dados fornecidos pelo setor de estatística do CGNA:

MIX

CAT A = 0,91%

CAT B = 8,13%

CAT C = 69,25%

CAT D = 21,70%

CAT E = 0,01%

OBS: Pelo baixo percentual de ocorrência, as aeronaves CAT E foram desconsideradas para efeito de cálculo.

Percentual de Utilização das Pistas

RWY 09L = 39,92%

RWY 27L = 9,69%

RWY 09R = 40,21%

RWY 27R = 10,17%

Considerações para a realização do cálculo:

Para efeito do cálculo da velocidade na aproximação final, foram considerados os tempos coletados no procedimento CHARLIE 2 RWY 09R ILS, em que o marcador externo NDB IG (TUCA) está localizado a 5 NM da cabeceira 09R. (Valor utilizado para as demais cabeceiras).

A distância mínima regulamentar de 5NM (SMR) entre duas aeronaves em aproximação, prevista na ICA 100-12 Regras do Ar e Serviço de Tráfego Aéreo, foi utilizada para a realização dos cálculos da operação em pistas isoladas no aeroporto de Guarulhos.

As distâncias mínimas regulamentares de 3NM e 5NM (SMR) entre duas aeronaves em aproximação, previstas na legislação em vigor, foram utilizadas para a realização dos cálculos da operação em pistas paralelas no aeroporto de Guarulhos.

Considerando as informações fornecidas, determine:

- a) A capacidade de cada uma das pistas operando isoladamente (RWY 09L/27R e RWY 09R/27L) para a operação RADAR;
- b) A capacidade do sistema de pistas considerando o padrão operacional da TWR-GR e a adoção das SMR de 5NM e 3NM para a operação RADAR ;

CAPACIDADE DAS PISTAS ISOLADAS

Resolução:

a)A capacidade de cada uma das pistas operando isoladamente (RWY 09L/27R e RWY 09R/27L) para a operação RADAR:

Para a determinação da capacidade das pistas RWY 09L/27R e RWY 09R/27L operando isoladamente, devemos, inicialmente, determinar a capacidade de cada uma das cabeceiras.

Devemos analisar o modo de operação para cada uma das cabeceiras, de acordo com a infraestrutura disponível, para definirmos quais tempos serão considerados como tempos de ocupação de pista.

Resolução:

No caso da cabeceira 09L: Observamos que não há a necessidade de back-track nos pousos e nas decolagens. Para a decolagem, as aeronaves ingressam pela TWY G. Após o pouso, as aeronaves podem liberar a pista por quaisquer das pistas de taxi disponíveis.

No caso das demais cabeceiras (09R, 27L e 27R), deve-se seguir o mesmo raciocínio com relação à infraestrutura disponível.

Resolução:

A partir dos dados fornecidos, calculamos o tempo médio ponderado de ocupação da pista para cada uma das cabeceiras:

$$\text{TMOP} = \frac{(\text{MIX A} \times \text{MATOP A}) + (\text{MIX B} \times \text{MATOP B}) + (\text{MIX C} \times \text{MATOP C}) + (\text{MIX D} \times \text{MATOP D})}{100}$$

$$\text{TMOP RWY 09L} = \frac{(0,91 \times 74) + (8,13 \times 77) + (69,25 \times 80) + (21,69 \times 97)}{100} = 83,37 \text{ seg}$$

$$\text{TMOP RWY 27R} = \frac{(0,91 \times 74) + (8,13 \times 85) + (69,25 \times 83) + (21,69 \times 96)}{100} = 85,88 \text{ seg}$$

$$\text{TMOP RWY 09R} = \frac{(0,91 \times 74) + (8,13 \times 76) + (69,25 \times 73) + (21,69 \times 86)}{100} = 76,05 \text{ seg}$$

$$\text{TMOP RWY 27L} = \frac{(0,91 \times 87) + (8,13 \times 92) + (69,25 \times 84) + (21,69 \times 92)}{100} = 86,39 \text{ seg}$$

Resolução:

O passo seguinte será a determinação da velocidade média ponderada com que as aeronaves voam o segmento de aproximação final.

Conhecendo a distância entre o OM e a THR e tendo coletado os tempos em que as aeronaves voam este trecho, determinaremos, para cada cabeceira, a velocidade de aproximação por categoria. Ao ponderarmos os valores encontrados com o MIX, encontraremos as velocidades médias ponderadas com que as aeronaves voam o segmento de aproximação final para cada cabeceira.

No nosso caso vamos considerar para as quatro cabeceiras a velocidade de aproximação calculada para a RWY09R.

Resolução:

$$VA_A = \frac{5}{141} = 0,0354\text{NM/SEG}$$

$$VA_B = \frac{5}{146} = 0,0342\text{NM/SEG}$$

Para a RWY 09R:

$$VA_C = \frac{5}{127} = 0,0393\text{NM/SEG}$$

$$VA_D = \frac{5}{120} = 0,0416\text{NM/SEG}$$

$$VMP = \frac{(MIX_A \times VA_A) + (MIX_B \times VA_B) + (MIX_C \times VA_C) + (MIX_D \times VA_D)}{100}$$

$$VMP_{09R} = \frac{(0,91 \times 0,0354) + (8,13 \times 0,0342) + (69,25 \times 0,0393) + (21,69 \times 0,0416)}{100} = 0,0393\text{NM/SEG}$$

Este valor será considerado para as quatro cabeceiras.

Resolução:

Conhecendo a velocidade média de aproximação das aeronaves e os tempos de ocupação de cada pista, determinaremos agora a separação de segurança para cada uma das cabeceiras:

$$\mathbf{SS = VMP \times TMOP}$$

Para a RWY 09L:

$$\mathbf{SS = 0,0393 \times 83,37 = 3,27 \text{ NM}}$$

Para a RWY 27R:

$$\mathbf{SS = 0,0393 \times 85,88 = 3,37 \text{ NM}}$$

Resolução:

Para a RWY 09R:

$$\mathbf{SS = 0,0393 \times 76,05 = 2,98 \text{ NM}}$$

Para a RWY 27L:

$$\mathbf{SS = 0,0393 \times 86,39 = 3,39 \text{ NM}}$$

Resolução:

Com os valores obtidos é possível determinarmos a separação total entre dois pousos para que seja possível intercalar uma decolagem entre eles, sem ferir a separação mínima regulamentar (5NM):

$$\mathbf{ST = SS + SMR}$$

Para a RWY 09L:

$$\mathbf{ST = 3,27 + 5 = 8,27 \text{ NM}}$$

Para a RWY 27R:

$$\mathbf{ST = 3,37 + 5 = 8,37 \text{ NM}}$$

Resolução:

Com os valores obtidos é possível determinarmos a separação total entre dois pousos para que seja possível intercalar uma decolagem entre eles, sem ferir a separação mínima regulamentar (5NM):

$$\mathbf{ST = SS + SMR}$$

Para a RWY 09R:

$$\mathbf{ST = 2,98 + 5 = 7,98 \text{ NM}}$$

Para a RWY 27L:

$$\mathbf{ST = 3,39 + 5 = 8,39 \text{ NM}}$$

Resolução:

O próximo passo será a determinação do tempo para se voar a separação total, que expressará o tempo entre dois pousos consecutivos:

$$\mathbf{TMST = \frac{ST}{VMP}}$$

Para a RWY 09L:

$$\mathbf{TMST = \frac{8,27}{0,0393} = 210,43 \cong 211 \text{ SEG}}$$

Para a RWY 27R:

$$\mathbf{TMST = \frac{8,37}{0,0393} = 212,97 \cong 213 \text{ SEG}}$$

Resolução:

Para a RWY 09R:

$$\text{TMST} = \frac{7,98}{0,0393} = 203,05 \cong 204 \text{ SEG}$$

Para a RWY 27L:

$$\text{TMST} = \frac{8,39}{0,0393} = 213,48 \cong 214 \text{ SEG}$$

Resolução:

O número de pousos para cada pista será determinado pela divisão dos 3600 seg de uma hora pelo tempo gasto para se voar a separação total:

$$P = \frac{1\text{HOUR}}{\text{TMST}}$$

Para a RWY 09L:

$$P = \frac{3600}{211} = 17,06 \cong 17$$

Para a RWY 27R:

$$P = \frac{3600}{213} = 16,9 \cong 16$$

Resolução:

O número de pousos para cada pista será determinado pela divisão dos 3600 seg de uma hora pelo tempo gasto para se voar a separação total:

$$P = \frac{1\text{HOUR}}{\text{TMST}}$$

Para a RWY 09R:

$$P = \frac{3600}{204} = 17,64 \cong 17$$

Para a RWY 27L:

$$P = \frac{3600}{214} = 16,8 \cong 16$$

Resolução:

O número de decolagens será determinado ao subtrairmos uma aeronave do total de pousos:

$$D = P - 1$$

Para a RWY 09L:

$$D = 17 - 1 = 16$$

Para a RWY 27R:

$$D = 16 - 1 = 15$$

Resolução:

O número de decolagens será determinado ao subtrairmos uma aeronave do total de pousos:

$$\mathbf{D = P - 1}$$

Para a RWY 09R:

$$\mathbf{D = 17 - 1 = 16}$$

Para a RWY 27L:

$$\mathbf{D = 16 - 1 = 15}$$

Resolução:

O número total de operações, a capacidade teórica de cada pista, será obtido pela soma do número de pousos com o número de decolagens:

$$\mathbf{CTP = P + D}$$

Para a RWY 09L:

$$\mathbf{CTP = 17 + 16 = 33}$$

Para a RWY 27R:

$$\mathbf{CTP = 16 + 15 = 31}$$

Resolução:

O número total de operações, a capacidade teórica de cada pista, será obtido pela soma do número de pousos com o número de decolagens:

$$\mathbf{CTP = P + D}$$

Para a RWY 09R:

$$\mathbf{CTP = 17 + 16 = 33}$$

Para a RWY 27L:

$$\mathbf{CTP = 16 + 15 = 31}$$

Resolução:

Com os valores obtidos, através da ponderação com os percentuais de utilização das cabeceiras, podemos determinar a capacidade de cada uma das pistas do aeródromo para a operação RADAR.

Observar que neste caso, os percentuais das pistas paralelas devem ser somados, uma vez que o percentual de utilização de pista foi expresso por cabeceira. Logo, para efeito deste cálculo, podemos considerar o seguinte PU:

| PERCENTUAL DE UTILIZAÇÃO DAS RWY | RWY 09 | RWY 27 |
|---|---------------|---------------|
| | 80% | 20% |

Resolução:

Logo, para cada pista, teremos:

$$\mathbf{CDP = \frac{(PU_A \times CTP_A) + \dots + (PU_N \times CTP_N)}{PU_A + \dots + PU_N}}$$

$$\mathbf{CDP\ RWY\ 09L/27R = \frac{(80 \times 33) + (20 \times 31)}{64 + 36} = 32,6 \cong 32\ AERONAVES}$$

$$\mathbf{CDP\ RWY\ 09R/27L = \frac{(80 \times 33) + (20 \times 31)}{64 + 36} = 32,6 \cong 32\ AERONAVES}$$

CAPACIDADE DO
SISTEMA DE
PISTAS
UTILIZANDO 5NM
COMO SMR

Resolução:

b) A capacidade do sistema de pistas considerando o padrão operacional da TWR-GR e a adoção das SMR de 5NM para a operação RADAR

Para a determinação do valor da capacidade do sistema de pistas utilizando 5NM como SMR devemos comparar os tempos médios entre os pousos consecutivos e a dependência das decolagens em relação a eles.

Novamente o MIX será determinado pela soma dos percentuais de utilização das cabeceiras, conforme realizado anteriormente.

Resolução:

A metodologia de cálculo adotada prevê a possibilidade de ocorrer uma decolagem entre dois pousos consecutivos, porém sem ferir a separação mínima regulamentar (SMR), que no Brasil é estabelecida na ICA 100-12, entre as aeronaves pousando e decolando.

Com esse objetivo, determinaremos que quando a aeronave que pousa estiver passando o OM a aeronave que decola estará iniciando a corrida para a decolagem. A dependência entre estas operações estará condicionada ao tempo de voo do OM à THR.

Resolução:

Com os dados coletados e calculados na localidade podemos determinar este tempo como segue:

Se a VMP = 0,0393 NM/seg e a distância entre o OM e a THR é 5NM, teremos que o tempo de voo entre o OM e a THR será:

$$T = 5\text{NM}/0,0393 = 127,22 \approx 128 \text{ seg}$$

Numa hora (3600 seg), o número de pousos será:

$$P = 3600 / 128 = 28 \text{ pousos}$$

Como o número de decolagens está condicionado ao número de pousos, teremos:

$$D = P - 1 = 28 - 1 = 27 \text{ decolagens}$$

O número total de operações será:

$$\text{CDP} = P + D = 28 + 27 = 55 \text{ aeronaves.}$$

Resolução:

Uma vez que os cálculos foram realizados para todas as cabeceiras, pela semelhança operacional, com os valores coletados da RWY 09R, podemos concluir que os resultados obtidos para o sistema 09 poderá ser aplicado ao sistema 27 como segue:

| OPERAÇÃO SIMULTÂNEA | SEPARAÇÃO | CAPACIDADE | | | | |
|--|-----------|------------|-----|-------|-------|-------|
| | | 100% | | | 90% | 80% |
| 09R (ARR) 09L (DEP) 27L (ARR) 27R (DEP) | 5NM | DEP | ARR | TOTAL | TOTAL | TOTAL |
| | | 27 | 28 | 55 | 49 | 44 |

CAPACIDADE DO
SISTEMA DE
PISTAS
UTILIZANDO 3NM
COMO SMR

Resolução:

c) A capacidade do sistema de pistas considerando o padrão operacional da TWR-GR e a adoção das SMR de 3NM para a operação RADAR

Para a determinação do valor da capacidade do sistema de pistas utilizando 3NM como SMR devemos comparar os tempos médios entre os pousos consecutivos e a dependência das decolagens em relação a eles. (Redução da fluidez das decolagens)

Resolução:

Novamente o MIX será determinado pela soma dos percentuais de utilização das cabeceiras, conforme realizado anteriormente.

Pelo MIX é possível constatar que 90% das aeronaves que operam em Guarulhos estão enquadradas como categoria média ou pesadas. Por esta característica, devemos atentar para a esteira de turbulência no que diz respeito às decolagens. Em média, a separação entre as aeronaves neste tipo de operação será de 2 minutos, conforme disposto na ICA 100-12.

Resolução:

A metodologia de cálculo adotada prevê a possibilidade de ocorrer uma decolagem entre dois pousos consecutivos, porém sem ferir a separação mínima regulamentar (SMR), que neste caso, será de 3 NM.

Com esse objetivo, determinaremos que quando a aeronave que pousa estiver a 3NM da cabeceira, a aeronave que decola estará iniciando a corrida para a decolagem. A dependência entre estas operações estará condicionada ao tempo de voo da 3ª milha à THR.

Resolução:

Com os dados coletados e calculados na localidade podemos determinar este tempo como segue:

Se a VMP = 0,0393 NM/seg e a distância considerada de 3NM, teremos que o tempo de voo neste trecho será:

$$T = 3\text{NM}/0,0393 = 76,33 \approx 77 \text{ seg}$$

Resolução:

Adotando-se o tempo mínimo recomendado de dois minutos entre as decolagens e que, em função das velocidades aplicadas, as aeronaves levam em média 77 segundos para voar as 3NM da separação proposta, conclui-se que a aeronave que decola deverá aguardar duas aproximações para que seja preservada tal separação.

Logo, é perceptível um acréscimo de 34 segundos ao tempo inicialmente adotado entre as decolagens, perfazendo um tempo médio de 154 segundos entre as mesmas.

Resolução:

OBS: Verifica-se que a adoção de tal separação será indicada nos períodos de maior demanda de pousos por reduzir a fluidez das decolagens.

Numa hora (3600 seg), o número de pousos será:

$$P = 3600 / 77 = 46,75 \approx 46 \text{ pousos}$$

Como a cada dois pousos teremos uma decolagem, o número de decolagens será:

$$D = P / 2 = 23 \text{ decolagens}$$

O número total de operações será:

$$CDP = P + D = 46 + 23 = 69 \text{ aeronaves.}$$

Resolução:

Uma vez que os cálculos foram realizados para todas as cabeceiras, pela semelhança operacional, com os valores coletados da RWY 09R, podemos concluir que os resultados obtidos para o sistema 09 poderá ser aplicado ao sistema 27 como segue:

| OPERAÇÃO SIMULTÂNEA | SEPARAÇÃO | CAPACIDADE | | | | |
|--|-----------|------------|-----|-------|-------|-------|
| | | 100% | | | 90% | 80% |
| 09R (ARR) 09L (DEP) 27L (ARR) 27R (DEP) | 3NM | DEP | ARR | TOTAL | TOTAL | TOTAL |
| | | 23 | 46 | 69 | 62 | 55 |