

MANUAL PARA CONCEPÇÃO, DIMENSIONAMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE PRAÇAS DE PEDÁGIO EM CONCESSÕES RODOVIÁRIAS

ORIENTAÇÕES PARA UTILIZAÇÃO DO ARQUIVO EXCEL



Maio 2018

MANUAL PARA CONCEPÇÃO, DIMENSIONAMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE PRAÇAS DE PEDÁGIO EM CONCESSÕES RODOVIÁRIAS

- ORIENTAÇÕES PARA UTILIZAÇÃO DO ARQUIVO EXCEL -

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
2	PARÂMETROS E VALORES DE REFERÊNCIA	2
2.1	Previsões de demanda veicular (ano 0).....	2
2.2	Volume horário de projeto.....	2
2.2.1	Relação hora de pico / VDMA (Fator K).....	2
2.2.2	Separação por sentido de circulação (Fator D).....	3
2.3	Dados de operação	4
2.3.1	Ano de início do pedagiamento.....	4
2.3.2	Percentual de utilização de AVI	4
2.3.3	Capacidade e tempos de transação de pistas de pedágio.....	5
3	DIMENSIONAMENTO DO NÚMERO DE PISTAS E SUA TIPOLOGIA	7
3.1	Cálculo do número de pistas de arrecadação necessárias.....	7
3.2	Tipo de praça.....	7
4	CONFIGURAÇÕES TIPO	9
4.1	Praças com cobrança bidirecional	9
4.1.1	Não reversíveis.....	9
4.1.2	Reversíveis.....	10
4.2	Praças com cobrança unidirecional	10
5	PARÂMETROS GEOMÉTRICOS DA PRAÇA	11
5.1	Parâmetros geométricos da zona de cobrança	11
5.1.1	Largura das pistas de arrecadação	11
5.1.2	Largura dos ilhéus	11
5.1.3	Comprimento dos ilhéus	12
5.1.4	Largura das cabines de cobrança.....	12
5.2	Parâmetros geométricos do traçado	12
5.2.1	Largura total da praça de pedágio	13
5.2.2	Extensão total da praça de pedágio	13
6	RESUMO DO ARQUIVO MICROSOFT EXCEL	15
6.1	Área de dados de entrada.....	15

6.2	Área de resultados	19
7	CASO PRÁTICO	22
7.1	Volume horário de projeto.....	24
7.2	Evolução da utilização de AVI	24
7.3	Número de pistas necessárias	25
7.4	Parâmetros geométricos	26

FIGURAS

Figura 1 - Configuração tipo de praça bidirecional	9
Figura 2 - Configuração tipo de praça reversível	10
Figura 3 - Configuração tipo de praça unidirecional	10
Figura 4 - Imagem da área de dados de entrada do arquivo de cálculo	15
Figura 5 - Imagem da área de resultados do arquivo de cálculo	20

TABELAS

Tabela 1 - Relação hora de pico / VDMA (Fator K)	3
Tabela 2 - Distribuição da demanda por sentido na hora de pico (Fator D)	4
Tabela 3 - Percentual máximo de utilização de pagamento eletrônico	4
Tabela 4 - Capacidades máximas e tempos de transação por tipo de pista e segmento de demanda	5
Tabela 5 - Capacidades máximas e tempos de transação por segmento de demanda em pistas manuais com utilização de papa-filas	6
Tabela 6 - Capacidades máximas e tempos de transação por segmento de demanda em pistas AVI sem utilização de cancela	6
Tabela 7 - Regras de definição de localização de pistas na praça de pedágio	9
Tabela 8 - Largura das pistas (metros)	11
Tabela 9 - Largura dos ilhéus (metros)	11
Tabela 10 - Comprimentos dos ilhéus (metros)	12
Tabela 11 - Largura das cabines de cobrança (metros)	12
Tabela 12 - Descrição dos Inputs Principais	16
Tabela 13 - Valores para os Inputs Principais	17
Tabela 14 - Descrição dos Inputs projeções de demanda	18
Tabela 15 - Valores para os Inputs projeções de demanda	18
Tabela 16 - Descrição dos Inputs operacionais	18
Tabela 17 - Valores para os Inputs Operacionais	19
Tabela 18 - Descrição dos Inputs geométricos	19
Tabela 19 - Valores para os Inputs geométricos	19
Tabela 20 - Número de pistas necessárias	25

GRÁFICOS

Gráfico 1 - Evolução da utilização de AVI por segmento de demanda	5
Gráfico 2 - Previsões de demanda	24
Gráfico 3 - VHP no sentido mais carregado	24
Gráfico 4 - Evolução de utilização de AVI	25
Gráfico 5 - Número de pistas necessárias	26

ENTIDADE E EQUIPA EXECUTORA

O projeto foi desenvolvido pela empresa Engimind Brasil - Consultores e Representação L^{tda}, com o apoio da empresa Viaponte Engenharia L^{tda} e com o acompanhamento da Concessionária da Rodovia Osório - Porto Alegre S.A. - Concepa.

Responsável Técnico:

André Remédio, MSc.

Equipa técnica executora:

Filipa Simões, engenheira.

Filipe Viegas, MSc.

Carla Oliveira, engenheira.

Erick Sobreiro, MSc.

João Campos, engenheiro.

Pedro Silva Vieira, desenhista.

Equipe técnica Concepa:

Thiago Vitorello, MSc.

Rafael Sacardo, engenheiro.

Leandro Conterato, MSc.

Arleu Campos, administrador.

Rafael Cornelius, engenheiro.

Ricardo Abreu, engenheiro.

MANUAL PARA CONCEPÇÃO, DIMENSIONAMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE PRAÇAS DE PEDÁGIO EM CONCESSÕES RODOVIÁRIAS

- ORIENTAÇÕES PARA UTILIZAÇÃO DO ARQUIVO EXCEL -

1 INTRODUÇÃO

O presente documento pretende estabelecer orientações para a utilização do arquivo *Microsoft Excel* de cálculo do dimensionamento de praças de pedágio, desenvolvido pela Engimind Consultores.

Para o processo de cálculo do dimensionamento das praças de pedágio é necessário um conjunto de valores de entrada (dados de *input*), o quais serão identificados em capítulo próprio. Quando não estão disponíveis os valores de input, podem ser assumidos parâmetros padrão de referência para o desenvolvimento dos cálculos.

Apresenta-se numa primeira fase os parâmetros necessários ao cálculo do dimensionamento das praças de pedágio, bem como os seus valores de referência, que resultaram da análise efetuadas no âmbito deste estudo, fazendo-se numa segunda fase a sistematização do método a utilizar.

Apresenta-se ainda no final do documento a forma de utilização do arquivo *Microsoft Excel* e um exemplo de aplicação da metodologia apresentada.

2 PARÂMETROS E VALORES DE REFERÊNCIA

No presente capítulo são identificados os parâmetros necessários para o cálculo do dimensionamento das praças de pedágio. Para cada parâmetro é apresentada a respectiva caracterização e são apresentados os valores de referência que poderão ser utilizados no caso de não haver dados específicos da praça a dimensionar.

2.1 Previsões de demanda veicular (ano 0)

O cálculo do dimensionamento de praças de pedágio pressupõe a existência de previsões de demanda para a todo o período de concessão no local de implementação das praças, previsões estas que deverão ser desagregadas por classe tarifária, agregando-se posteriormente nos seguintes segmentos de demanda:

- Motos
- Autos
- Caminhões de 2 e 3 eixos
- Caminhões de 4 e 5 eixos
- Caminhões de 6 ou mais eixos

Com base nas previsões de demanda será calculado o volume horário de projeto e posteriormente será determinado o número de pistas de arrecadação necessárias para atender à demanda prevista.

2.2 Volume horário de projeto

O volume horário de projeto é calculado com base na seguinte fórmula:

- $VHP\ ano_i = VDMA\ ano_i \times Fator\ K \times Fator\ D$
 - VDMA ano_i - volume diário médio anual
 - Fator K - relação hora de pico / VDMA
 - Fator D - distribuição da demanda por sentido

2.2.1 Relação hora de pico / VDMA (Fator K)

Em rodovias existentes e com valores de demanda conhecidos deverá ser analisada a curva da enésima hora - gráfico da demanda horária de um determinado ano da rodovia representada como percentual do VDMA, ordenada do maior para o menor valor. A hora de pico escolhida deverá ser a hora em que a curva mostra uma mudança de declive.

Na eventualidade de não existirem dados da rodovia em estudo propõe-se a utilização dos valores apresentados na tabela seguinte, que resultaram da combinação dos valores determinados para as praças de pedágio da Concepa e dos valores recomendados pelo DNIT:

- Os valores apresentados para as pesquisas de campo resultaram da análise de praças de pedágio localizadas na região Sul. Para as restantes regiões consideraram-se as relações entre cada região e a região Sul resultantes dos fatores do DNIT
- Para os valores apresentados para o DNIT em praças com cobrança direcional foram aplicadas as mesmas relações entre este tipo de praça e a praça bidirecional que resultaram da análise das praças da Concepa:

Tabela 1 - Relação hora de pico / VDMA (Fator K)

Tipo de cobrança	Região	Fator K					
		Pesquisas de campo			DNIT		
		K30	K50	K100	K30	K50	K100
Bidirecional	Norte	10,7%	10,5%	9,7%	8,2%	8,0%	7,3%
	Nordeste	11,7%	11,2%	10,3%	9,0%	8,5%	7,8%
	Centro	11,7%	11,3%	10,4%	9,0%	8,6%	7,9%
	Sudeste	12,1%	11,6%	10,6%	9,3%	8,8%	8,1%
	Sul	12,5%	12,0%	11,0%	9,6%	9,1%	8,3%
Unidirecional	Norte	15,4%	14,9%	13,2%	11,8%	11,3%	10,0%
	Nordeste	16,9%	15,9%	14,0%	13,0%	12,0%	10,6%
	Centro	16,9%	16,1%	14,2%	13,0%	12,2%	10,8%
	Sudeste	17,4%	16,4%	14,5%	13,4%	12,5%	11,0%
	Sul	18,0%	17,0%	15,0%	13,8%	12,9%	11,4%

2.2.2 Separação por sentido de circulação (Fator D)

O cálculo do dimensionamento de praças de pedágio é efetuado para o sentido mais carregado na hora de pico, sendo que o número de pistas de arrecadação, para uma praça de cobrança bidirecional, deverá ser idêntico nos dois sentidos de circulação. No entanto na eventualidade de se optar por pistas de arrecadação reversíveis será também necessário o conhecimento da demanda no sentido menos carregado (contra fluxo).

Assim, em rodovias existentes e com valores de demanda conhecidos deverá ser analisada a distribuição da demanda por sentido na hora de pico, propondo-se, no caso em que não existam dados para a rodovia em estudo, a utilização dos seguintes valores que resultaram da combinação dos valores determinados para as praças de pedágio da Concepa e dos valores recomendados pelo DNIT:

Tabela 2 - Distribuição da demanda por sentido na hora de pico (Fator D)

Tipo de via	Fator D		
	K30	K50	K100
Regional	70%/30%	70%/30%	70%/30%
Urbana de contorno	53%/47%	53%/47%	50%/50%
Urbana radial	66%/34%	65%/35%	65%/35%
Rural	53%/47%	55%/45%	52%/48%

2.3 Dados de operação

Para o prosseguimento do cálculo do dimensionamento é essencial conhecer dados relativos à operação da praça de pedágio tais como:

2.3.1 Ano de início do pedagiamento

Ano em que está previsto o início do pedagiamento na rodovia em estudo.

2.3.2 Percentual de utilização de AVI

O conhecimento do percentual inicial de utilização de AVI e o seu valor máximo previsto permitirá calcular a sua evolução para todo o período de operação.

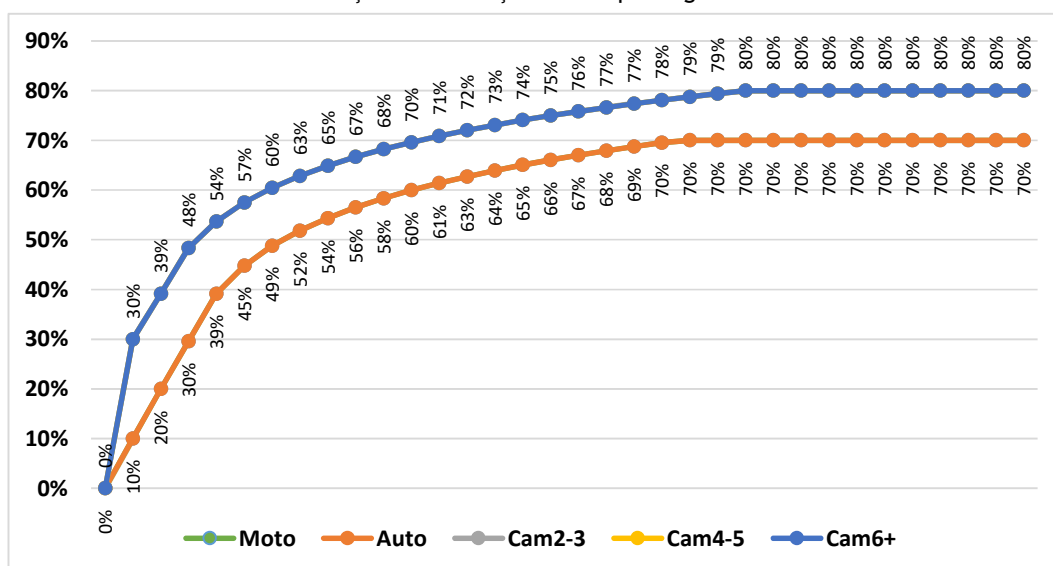
Propõe-se a consideração dos seguintes valores máximos, admitindo-se que será permitida a utilização do sistema pelas motos:

Tabela 3 - Percentual máximo de utilização de pagamento eletrônico

Segmento de demanda	Adesão máxima ao sistema AVI (%)
Moto	70%
Auto	70%
Cam2-3e	80%
Cam4-5e	80%
Cam6+	80%

O gráfico seguinte mostra a evolução da utilização de AVI, considerando que no ano de introdução do pedágio a utilização de AVI será de 10% para motos e autos e de 30% para caminhões.

Gráfico 1 - Evolução da utilização de AVI por segmento de demanda



2.3.3 Capacidade e tempos de transação de pistas de pedágio

A capacidade de pistas de pedágio e os tempos de transação variam consoante o tipo de arrecadação - manual ou eletrônica e o segmento de demanda, apresentando-se na tabela seguinte os valores propostos, que resultaram da análise de dados das praças de pedágio da concessionária Triunfo Concepa e de pesquisas de campo efetuadas neste estudo.

Tabela 4 - Capacidades máximas e tempos de transação por tipo de pista e segmento de demanda

Segmento de demanda	Capacidade máxima (veic/hora)		Tempo de transação (segundos)	
	Manual	Eletrônica	Manual	Eletrônica
Moto	129	720	28	5
Auto	257	720	14	5
Cam2-3e	180	600	20	6
Cam4-5e	157	514	23	7
Cam6+	138	450	26	8

Os valores apresentados na tabela anterior pressupõem que as pistas de cobrança manual funcionam sem a presença de operadores volantes (papa-filas) e que as pistas de cobrança eletrônica funcionam com utilização de cancela.

Verificando-se, no entanto, que em períodos de forte demanda é usual utilizar papa-filas nas pistas de cobrança manual, foram calculados os valores de capacidade e tempo de transação considerando que a sua utilização origina uma redução no tempo de transação de cerca de 20%, apresentando-se os valores na tabela seguinte.

Tabela 5 - Capacidades máximas e tempos de transação por segmento de demanda em pistas manuais com utilização de papa-filas

Segmento de demanda	Capacidade máxima (veíc/hora)	Tempo de transação (segundos)
Moto	129	28,0
Auto	321	11,2
Cam2-3e	180	20,0
Cam4-5e	157	23,0
Cam6+	138	26,0

Também nas pistas de cobrança eletrônica é possível, com a eliminação da cancela, conseguir-se uma diminuição do tempo de transação. Considerou-se que esta diminuição é deverá ser de 1 segundo em cada segmento de demanda, originando assim uma redução no tempo de transação de 20% em motos e autos e entre 13% a 17% nos caminhões. Na tabela seguinte apresentam-se os valores resultantes para a capacidade das pistas e tempo de transação sem utilização de cancela.

Tabela 6 - Capacidades máximas e tempos de transação por segmento de demanda em pistas AVI sem utilização de cancela

Segmento de demanda	Capacidade máxima (veíc/hora)	Tempo de transação (segundos)
Moto	900	4
Auto	900	4
Cam2-3e	720	5
Cam4-5e	600	6
Cam6+	514	7

3 DIMENSIONAMENTO DO NÚMERO DE PISTAS E SUA TIPOLOGIA

O cálculo do dimensionamento de praças de pedágio é efetuado através das seguintes etapas:

3.1 Cálculo do número de pistas de arrecadação necessárias

Cálculo do número de pistas de arrecadação necessárias por ano, subdividindo o cálculo por tipo de pista - manuais e eletrônicas

- $N^{\circ} \text{ total pistas ano}_i = N^{\circ} \text{ pistas eletrônicas ano}_i + N^{\circ} \text{ pistas manuais ano}_i$
 - $N^{\circ} \text{ pistas eletrônicas ano}_i = \text{VHP ano}_i \times \text{Porcentagem AVI} / \text{Capacidade pista AVI}$
 - $N^{\circ} \text{ pistas manuais ano}_i = \text{VHP ano}_i \times \text{Porcentagem Manual} / \text{Capacidade pista Manual}$

Considerou-se que deverá sempre existir uma pista livre (extra larga) por sentido, destinada a veículos de grandes dimensões e a veículos isentos, uma pista mista por sentido, com o objetivo de garantir a substituição de pistas AVI em manutenção ou que apresentem problemas e ainda uma pista por sentido, partilhada entre motos e autos, por cada 120 motos/hora/sentido.

O cálculo do número de pistas mistas e partilhadas está incluído nas pistas manuais, ou seja, se resultarem do cálculo 10 pistas manuais, serão necessárias efetivamente 8 pistas com pagamento manual, 1 pista partilhada e 1 pista mista. Por outro lado o cálculo das pistas livres é efetuado de forma independente.

3.2 Tipo de praça

Praças com cobrança bidirecional

- Não reversíveis:
 - O dimensionamento consistirá apenas numa parcela - dimensionamento para o pico de funcionamento - sendo que o número de pistas de arrecadação deverá ser idêntico nos dois sentidos de circulação
- Reversíveis:
 - Dimensionamento no contra fluxo (parcelas não reversíveis): número mínimo de faixas manuais e automáticas de forma a assegurar o atendimento do contra fluxo de tráfego no horário de pico. Estas faixas não irão ter funcionamento reversível
 - Acréscimo para pico de funcionamento (parcela reversível): corresponde ao grupo central de pistas de pedágio que permitirão assegurar o aumento de capacidade necessário para dar resposta ao funcionamento da praça de pedágio no horário de pico considerado. Estas pistas permitirão não só a reversibilidade do seu funcionamento, mas também se encontrarão equipadas com equipamento manual e automático permitindo assim flexibilidade de operação

Praças com cobrança unidirecional

- O dimensionamento consistirá apenas numa parcela - dimensionamento para o pico de funcionamento no sentido de localização do pedágio.

4 CONFIGURAÇÕES TIPO

A disposição das pistas deverá obedecer as regras apresentadas na tabela seguinte.

Tabela 7 - Regras de definição de localização de pistas na praça de pedágio

Tipo de pista	Regras de localização
Pista livre	Localizada na via mais à direita do sentido do tráfego
Pista AVI	Tem sido habitual no Brasil localizar as pistas AVI à esquerda das pistas livres. No entanto tal localização aumenta o conflito entre os movimentos sem paragem (utilizadores de AVI) e com paragem (utilizadores pagamento manual). Propõe-se, à medida que o número de pistas AVI vai aumentando, que sejam localizadas também à esquerda, ou seja, as pistas AVI devem repartir-se entre as pistas mais à esquerda e as pistas à direita, logo após a pista livre
Pista mista (manual / AVI)	Localizadas à esquerda das pistas AVI que se localizam à direita do sentido de circulação
Pista Partilhada (Motos e Autos)	Localizadas à esquerda da pista mista
Pista Manual	Localizadas à esquerda da pista partilhada
Pistas Reversíveis	Localizadas à esquerda do sentido de tráfego

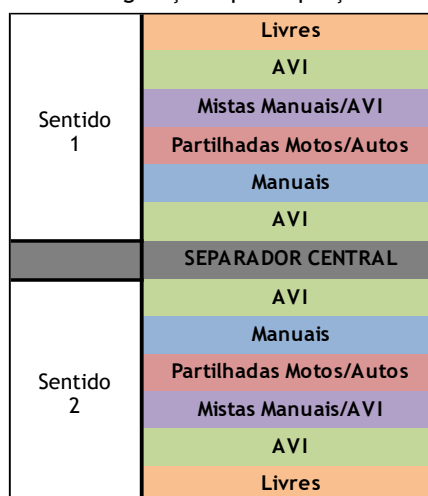
Apresenta-se no capítulo seguinte pormenores da disposição das pistas consoante o tipo de praça.

4.1 Praças com cobrança bidirecional

4.1.1 Não reversíveis

Apresenta-se na figura seguinte a disposição proposta para as pistas, seguindo as regras apresentadas no ponto anterior, tendo-se considerado a existência de mais de uma pista AVI por sentido e a necessidade de pistas partilhadas entre motos e autos:

Figura 1 - Configuração tipo de praça bidirecional



4.1.2 Reversíveis

Neste tipo de praças as pistas de cobrança reversível devem ser as pistas centrais, devendo sempre existir pistas reversíveis de cobrança manual e eletrônica.

Na figura seguinte faz-se a representação da disposição proposta para as pistas, tendo-se considerado a existência de mais de uma pista AVI por sentido e a necessidade de pistas partilhadas entre motos e autos.

Figura 2 - Configuração tipo de praça reversível

Sentido 1	Não reversível	Livres
		AVI
		Mistas Manuais/AVI
		Partilhadas Motos/Autos
		Manuais
Sentido 2	Reversível	AVI
		Manuais
	Não reversível	Manuais
		Partilhadas Motos/Autos
		Mistas Manuais/AVI
		AVI
		Livres

4.2 Praças com cobrança unidirecional

Em praças de cobrança unidirecional a disposição das pistas é idêntica à das praças bidirecionais, sendo que neste caso a cobrança é efetuada em apenas um sentido de circulação.

Na figura seguinte faz-se a representação da disposição proposta para as pistas, tendo-se considerado a existência de mais de uma pista AVI por sentido e a necessidade de pistas partilhadas entre motos e autos.

Figura 3 - Configuração tipo de praça unidirecional

Sentido pedagiado	Livres
	AVI
	Mistas Manuais/AVI
	Partilhadas Motos/Autos
	Manuais
	AVI
	SEPARADOR CENTRAL
Sentido não pedagiado	Passagem livre

5 PARÂMETROS GEOMÉTRICOS DA PRAÇA

Os valores propostos para os parâmetros geométricos da praça são apresentados no de seguida.

5.1 Parâmetros geométricos da zona de cobrança

Para o cálculo do dimensionamento da zona de cobrança é necessário o conhecimento da largura das pistas, largura dos ilhéus, comprimento dos ilhéus e largura das cabines de cobrança.

5.1.1 Largura das pistas de arrecadação

Os valores recomendados para a largura das pistas são apresentados na tabela seguinte.

Tabela 8 - Largura das pistas (metros)

Tipo de pista	Valor recomendado
Cobrança manual	3,5
Cobrança eletrônica	3,5
Mistas	3,5
Livres	6,5
Partilhadas entre motos e autos	4,0

De forma a facilitar a futura conversão de pistas de cobrança manual em cobrança eletrônica as pistas deverão ter todas uma largura de 3.5 metros, com exceção das pistas livres, que deverão ter 6,5 metros de largura por forma a permitirem a passagem a veículos de grandes dimensões, e das pistas partilhadas entre motos e autos que deverão ter 4,0 metros. Neste último caso, o aumento de largura necessário para acomodar a pista partilhada será conseguido à custa da redução da largura do ilhéu, passando de 1,8 para 1,3 metros.

5.1.2 Largura dos ilhéus

Os valores recomendados para a largura dos ilhéus são apresentados na tabela seguinte.

Tabela 9 - Largura dos ilhéus (metros)

Tipo de pista contígua ao ilhéu	Valor recomendado
Cobrança manual	1,8
Cobrança eletrônica	1,8
Mistas	1,8
Livres	1,8
Partilhadas entre motos e autos	1,3

A largura dos ilhéus deve ser de 1,8 metros para ilhas contíguas a todos os tipos de pista, com exceção das ilhas contíguas a pistas partilhadas entre motos e autos que terão que ter 1,3 metros, por forma a permitir o alargamento da pista de cobrança para os 4 metros.

5.1.3 Comprimento dos ilhéus

Os valores recomendados para o comprimento dos ilhéus são apresentados na tabela seguinte.

Tabela 10 - Comprimentos dos ilhéus (metros)

Tipo de pista	Valor recomendado	
	Não reversível	Reversível
Cobrança manual	40	50
Cobrança eletrônica	40	50
Mistas	40	50
Livres	40	50
Partilhadas entre motos e autos	40	50

O comprimento dos ilhéus deverá ser de 40 metros quando contíguas a pistas não reversíveis e de 50 metros quando contíguas a pistas reversíveis.

5.1.4 Largura das cabines de cobrança

Os valores recomendados para a largura das cabines de cobrança são apresentados na tabela seguinte.

Tabela 11 - Largura das cabines de cobrança (metros)

Tipo de pista contígua ao ilhéu	Valor recomendado
Cobrança manual	1,2
Cobrança eletrônica	1,2
Mistas	1,2
Livres	1,2
Partilhadas entre motos e autos	1,1

A largura das cabines de cobrança deve ser de 1,1 metros para cabines localizadas em ilhas contíguas a pistas partilhadas entre motos e autos, sendo que as restantes cabines poderão ter uma largura de 1,2 metros.

5.2 Parâmetros geométricos do traçado

Para o cálculo da largura e comprimentos da praça de pedágio é necessário conhecer os seguintes elementos:

- N° de pistas de cobrança por tipologia

- Comprimento da zonas de divergência, convergência e de cobrança
- Largura do separador central
- N° de faixas da rodovia
- Largura da faixa

5.2.1 Largura total da praça de pedágio

Para praças de cobrança bidirecional reversível e para praças de cobrança unidirecional a largura total da praça de pedágio é calculada pela soma das seguintes parcelas:

- Largura pista cobrança eletrônica x N° pistas de cobrança eletrônica
- Largura pista mista x N° pistas mistas
- Largura pista manual x N° pistas manuais
- Largura pista cobrança partilhada x N° pistas partilhadas
- Largura pista extra larga (livre) x N° pistas extra largas (livres)
- Largura ilhéus x (N° pistas eletrônicas + N° pistas manuais + N° pistas mistas + N° pistas livres - 1)
- Largura ilhéus contíguos a pistas partilhadas x N° pistas partilhadas

Para praças de cobrança bidirecional não reversível a largura total da praça de pedágio é calculada com base na fórmula anterior sendo ainda necessário somar a largura do separador central.

5.2.2 Extensão total da praça de pedágio

A extensão total da praça de pedágio é calculada com base na soma das seguintes parcelas:

- Comprimento da zona de cobrança (60 metros)
- Comprimento da zona de divergência
- Comprimento da zona de convergência

A utilização de taxas de variação diferentes para as divergências e convergências resultam em praças com uma configuração assimétrica nos dois eixos, além de limitar a possibilidade de materialização de faixas reversíveis. Como tal propõe-se a adoção de praças de pedágio simétricas, por aplicação de taxas de variação idênticas de 1/7, tanto na zona de divergência como na zona de convergência.

Para praças de cobrança bidirecional o comprimento da zona de divergência e de convergência é calculado com base na seguinte fórmula:

- $(\text{Largura total da praça de pedágio} / 2 - \text{Largura separador central}) \times (1 / \text{Taxa de variação}) - \text{N° de faixas} / 2 \times \text{largura das faixas} \times (1 / \text{Taxa de variação})$

Para praças de cobrança reversível o comprimento da zona de divergência e de convergência é calculado com base na seguinte fórmula:

- $\text{Largura total da praça de pedágio} / 2 \times (1 / \text{Taxa de variação}) - \text{N}^\circ \text{ de faixas} / 2 \times \text{largura das faixas} \times (1 / \text{Taxa de variação})$

Para praças de cobrança unidirecional o comprimento da zona de divergência e de convergência é calculado com base na seguinte fórmula:

- $\text{Largura total da praça de pedágio} \times (1 / \text{Taxa de variação}) - \text{N}^\circ \text{ de faixas} \times \text{largura das faixas} \times (1 / \text{Taxa de variação})$

6 RESUMO DO ARQUIVO MICROSOFT EXCEL

O arquivo *Microsoft Excel*, desenvolvido pela Engimind Consultores, efetua todos os cálculos necessários ao dimensionamento de praças de pedágio.

Para se proceder ao dimensionamento das praças de pedágio é apenas necessário preencher os Inputs Principais, podendo o cálculo ser refinado no caso de se introduzirem valores específicos da praça a dimensionar nos restantes inputs.

Na folha de cálculo é possível observar um conjunto de botões de automatização de operações:

- Abrir / fechar: permite visualizar e ocultar linhas da planilha em função da informação que se pretender ter visível
- Cálculo de dimensionamento: procede ao cálculo do dimensionamento da praça de pedágio e à atualização de todos os cálculos apresentados e dos respectivos gráficos, de acordo com os dados de entrada considerados

A folha de cálculo tem duas áreas principais:

- Dados de entrada (inputs): onde se introduzem os inputs necessários ao dimensionamento da praça de pedágio
- Resultados: onde são apresentados os resultados do dimensionamento realizado

6.1 Área de dados de entrada

A figura seguinte apresenta a área de dados de entrada (inputs).

Figura 4 - Imagem da área de dados de entrada do arquivo de cálculo

Praça de Pedágio de XXXXX											
INPUT											
INPUTS PRINCIPAIS											
SEGMENTO DE DEMANDA	PREVISÕES DE DEMANDA DISPONÍVEIS	ANO 0	VIDA TOTAL DA SEÇÃO (ANO 0)	ANO DE INTRODUÇÃO DO PEDÁGIO	QUEBRA NA DEMANDA	TIPO DE PRAÇA	ANO DE ANÁLISE				
Leves Caminhões	Não	2018	40 000 2 000	1	-5,0% -10,0%	Bidirecional	2030				
FONTE HORA DE DIMENSIONAMENTO	HORA DE DIMENSIONAMENTO	REGIÃO	TIPO DE VIA	RELAÇÃO HORA DE PICO / VIDA (FATOR K)	SENTIDO MAIS CARREGADO NA HORA DE PICO (FATOR D)	VHP SENTIDO MAIS CARREGADO					
Pesquisas de Campo	30 ^a	Sul	Via Regional	12,5%	70,0%	8,8%					
											
INPUTS PROJEÇÃO DEMANDA Abrir / fechar											
SEGMENTO DE DEMANDA	ELASTICIDADE		ESTIMATIVAS PIB					ESTIMATIVAS DE DEMANDA		TAXA MÉDIA ANUAL	
	Ano 1	Ano n	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5 - Ano n	Ano 0	Ano 2030		
Leves Caminhões	1,1 1,0	1,0 1,0	2,5%	2,5%	2,5%	2,5%	2,5%	40 000 2 000	52 349 2 421	2,3% 1,6%	
INPUTS OPERACIONAIS Abrir / fechar											
SEGMENTO DE DEMANDA	EVOLUÇÃO DE AVI DISPONÍVEL	PERCENTAGEM AVI NO ANO 1	UTILIZAÇÃO DE CANCELAS NAS PISTAS AVI	UTILIZAÇÃO DE AVI NAS MOTOS	UTILIZAÇÃO DE PAPA-FILAS	UTILIZAÇÃO DE PISTAS PARTILHADAS (AUTOS + MOTOS)	INPUT GEOMETRICOS Abrir / fechar				
Leves Caminhões	Não	10,0% 30,0%	Não	Sim	Sim	Sim	NÚMERO FAIXAS DA RODOVIA (2 SENTIDOS)	LARGURA DA FAIXA (M)	LARGURA DO SEPARADOR CENTRAL (M)		
							4	3,50	2,0		

Na área de dados de entrada (inputs) são introduzidos os dados necessários ao cálculo do dimensionamento de praças de pedágio, estando agregados de acordo com diferentes tipologias.

- Inputs principais:

A metodologia realiza todos os cálculos necessários apenas com os valores dos Inputs Principais, considerando para os Inputs operacionais e de projeção da demanda valores pré-definidos, devendo apenas ser alterados em caso de necessidade de refinamento do processo de cálculo. Valores diferentes para estes Inputs poderão ser escolhidos com base em lista disponível no arquivo.

Os Inputs Principais são apresentados na tabela seguinte.

Tabela 12 - Descrição dos Inputs Principais

Inputs Principais	Descrição
Previsões de demanda disponíveis	Se existirem previsões de demanda para a rodovia em estudo elas poderão ser introduzidas no arquivo, para leves e caminhões ou para 5 segmentos de demanda (motos, leves, caminhões de 2 e 3 eixos, de 4 e 5 eixos e de 6 ou mais eixos), caso contrário serão calculadas umas previsões com base nos valores de demanda para o ano 0 e nos valores dos restantes inputs
Ano 0	Ano inicial de análise
VDM para o total da seção no ano inicial	Leves (motos + autos) e Caminhões Nota importante: o valor de VDMA a introduzir diz respeito ao total da seção, mesmo para o cálculo de praças com cobrança unidirecional. Introduzir valor apenas se “Previsões de demanda disponíveis” = Não
Ano de introdução do pedágio	Ano em que se prevê que seja introduzido pedágio na rodovia
Quebra na demanda	Quebra na demanda devido à introdução do pedágio de pedágio na rodovia
Tipo de praça	Tipologia que se pretende implementar na praça de pedágio
Ano de análise	Ano que se pretende analisar
Fonte dos fatores para a hora de dimensionamento	Valores das pesquisas de campo ou valores recomendados pelo DNIT
Hora de dimensionamento	Hora para a qual se pretende dimensionar a praça de pedágio
Região em estudo	A região em estudo irá influenciar a fator K
Tipo de via em análise	O tipo de via irá influenciar o fator D
Fator k	Relação hora de pico /VDMA. Calculado em função da fonte utilizada na hora de dimensionamento, da hora de dimensionamento e da região em estudo
Fator D	Proporção da demanda no sentido mais carregado na hora de pico. Calculado em função da fonte utilizada na hora de dimensionamento, da hora de dimensionamento e do tipo de via em análise
VHP no sentido mais carregado	Definido como percentual do VDMA. Calculado em função dos inputs anteriores

Apresenta-se na tabela seguinte os valores disponíveis para os inputs principais.

Tabela 13 - Valores para os Inputs Principais

Inputs Principais	Valores pré-definidos	Valores disponíveis
Previsões de demanda disponíveis	Não	Sim - introduzir as previsões de demanda na folha “Previsões demanda disponíveis” em apenas uma das tabelas: Carregar no botão para “Retornar tela inicial” Não - as previsões serão calculadas com base nos restantes Inputs
Ano 0	2018	2018 a 2033
VDM para o total da seção no ano inicial	Introduzir valores de demanda se “Previsões de demanda disponíveis” = Não	
Ano de introdução do pedágio	2019	Entre ano 1 e ano 5
Quebra na demanda devido à introdução do pedágio	-5% leves; -10% caminhões	0%; -2,5%; -5,0%; -7,5%; -10,0%; -15,0%; -20,0%; -25,0%; -30,0%; -40,0%; -50,0%
Tipo de praça	Bidirecional	Bidirecional (Não reversível); Unidirecional; Reversível
Ano de análise	2030	Ano 0 + 33 anos
Fonte dos fatores para a hora de dimensionamento	Pesquisas de campo	Pesquisas de campo; DNIT
Hora de dimensionamento	30 ^a	30 ^a ; 50 ^a ; 100 ^a
Região em estudo	Sul	Norte; Nordeste; Centro; Sudeste; Sul
Tipo de via em análise	Via regional	Via urbana de contorno; Via urbana radial; Via rural
Fator k	Calculado	
Fator D	Calculado	
VHP no sentido mais carregado	Calculado	

- Inputs projeção demanda

Os Inputs projeção de demanda são descritos na tabela seguinte.

Tabela 14 - Descrição dos Inputs projeções de demanda

Inputs Projeções Demanda	Descrição
Elasticidade do tráfego ao PIB	Valores que vão apoiar o cálculo das previsões de demanda
Projeção do PIB	Evolução prevista para o PIB. A partir do ano 5 considera-se o mesmo crescimento do ano 5
Estimativas de demanda ano 0	Valor introduzido de demanda para o ano 0
Estimativas de demanda ano de análise	Quando não existem previsões de demanda disponíveis, as previsões são calculadas tendo como ponto de partida a demanda VDMA para o total da seção no ano 0, para veículos leves e pesados, resultando a sua projeção da combinação da projeção do PIB e da elasticidade do tráfego ao PIB, aplicando-se ainda, no ano de introdução do pedágio, a quebra de demanda prevista. Neste caso, o processo de cálculo desagrega o total de veículos leves pelas classes de motos e autos e os pesados pelas 3 classes de caminhões em função de distribuições de referência - os percentuais admitidos para cada segmento foram os seguintes: para os leves: motos 3%, autos 97% e para os caminhões (Cam2-3 eixos 53%, Cam4-5 eixos 25%, Cam6+ 23%).
Taxa média anual	Taxa média anual de crescimento da demanda entre o ano 0 e o ano de análise

Apresenta-se na tabela seguinte os valores disponíveis para os inputs projeções de demanda.

Tabela 15 - Valores para os Inputs projeções de demanda

Inputs Projeções Demanda	Pré-definidos	Valores disponíveis
Elasticidade	Leves 1,1 a 1,0 Caminhões 1,0	1,0; 1,1; 1,2
Projeção do PIB	2,5% em todos os anos	2,0%; 2,5%; 3,0%; 3,5%, 4,0%; 4,5%, 5,0%
Estimativas de demanda ano 0	Valor de demanda do ano 0	
Estimativas de demanda ano de análise	Calculado	
Taxa média anual	Calculado	

- Inputs operacionais**

Os Inputs operacionais são apresentados na tabela seguinte.

Tabela 16 - Descrição dos Inputs operacionais

Inputs Operacionais	Descrição
Evolução de AVI disponível	Sim - Introduzir a evolução pretendida na folha "Evolução AVI disponível". Carregar no botão para "Retornar tela inicial" Não - a evolução será calculada partindo dos valores considerados para o ano inicial e seguindo as curvas apresentadas no Gráfico 1 (que variam em função do percentual de AVI escolhido para o ano inicial)
Percentagem de AVI no ano inicial	Percentual estimado para a utilização de AVI
Utilização de cancela nas pistas AVI	Consideração ou não de cancela nas pistas AVI
Utilização de AVI nas motos	Consideração ou não de utilização de AVI pelas motos
Utilização de papa-filas	Consideração ou não de operadores móveis
Utilização de pistas partilhadas (motos e autos)	Consideração ou não de pistas partilhadas entre motos e autos

Apresenta-se na tabela seguinte os valores disponíveis para os inputs operacionais.

Tabela 17 - Valores para os Inputs Operacionais

Inputs Operacionais	Pré-definidos	Valores disponíveis
Evolução de AVI disponível	Não	Sim; Não
Percentagem de utilização de AVI no ano inicial	10% leves; 30% caminhões	0%; 5% 10% 20% 30% 40% 50% 60%; 70%; 80%
Utilização de cancela nas pistas eletrônicas	Não	Sim; Não
Utilização de AVI nas motos	Sim	Sim; Não
Utilização de papa-filas	Sim	Sim; Não
Utilização de pistas partilhadas	Sim	Sim; Não

- Inputs geométricos

Os Inputs geométricos são apresentados na tabela seguinte.

Tabela 18 - Descrição dos Inputs geométricos

Inputs Geométricos	Descrição
Número de faixas da rodovia	Número de faixas no total dos 2 sentidos
Largura da faixa	Largura da faixa de rodagem da rodovia em análise
Largura do separador central	Largura do separador central da rodovia em análise

Apresenta-se na tabela seguinte os valores disponíveis para os inputs operacionais.

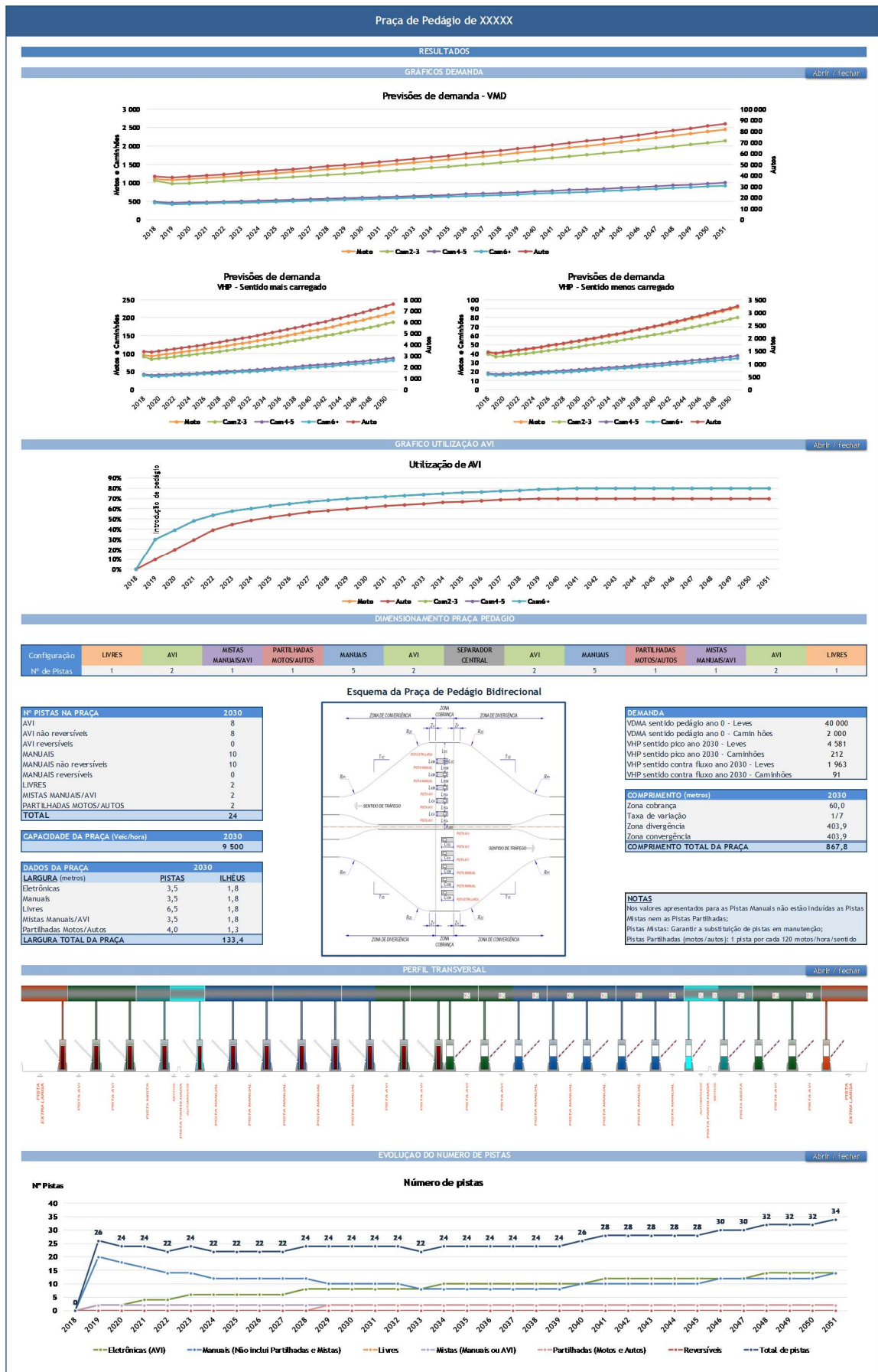
Tabela 19 - Valores para os Inputs geométricos

Inputs Geométricos	Pré-definidos	Valores disponíveis
Número de faixas da rodovia	4	2; 4; 6; 8; 10
Largura da faixa	3,5	3,25; 3,50; 3,75
Largura do separador central	2,0	1,5; 2,0; 2,5

6.2 Área de resultados

A figura seguinte apresenta a área de resultados.

Figura 5 - Imagem da área de resultados do arquivo de cálculo



Na área de resultados são apresentados os seguintes elementos:

- Gráficos demanda:
 - a. Gráfico com previsões de demanda - VDM
 - b. Gráfico com VHP no sentido mais carregado
 - i. Volume horário de projeto calculado com base na fórmula $VHP_{anoi} = VDMA_{anoi} \times \text{Fator K} \times \text{Fator D}$ (sentido mais carregado), e os fatores K e D que resultam da hora de dimensionamento escolhida
 - c. Gráfico com VHP no sentido menos carregado
 - i. Volume horário de projeto calculado com base na fórmula $VHP_{anoi} = VDMA_{anoi} \times \text{Fator K} \times \text{Fator D}$ (sentido menos carregado), e os fatores K e D que resultam da hora de dimensionamento escolhida
- Gráfico utilização AVI
 - a. Evolução da utilização de AVI por segmento de demanda
- Dimensionamento praça de pedágio:
 - a. Configuração: disposição de cada tipo de pista e nº de pistas de cada tipo
 - b. Nº de pistas na praça: Nº de pistas por tipo (AVI, manuais, mistas, etc.)
 - c. Dados da Praça: dados geométricos da praça - Larguras dos vários tipos de pistas e ilhéus; Cálculo da largura total da praça
 - d. Dados da rodovia: Largura da faixa e do separador central
 - e. VDMA no sentido do pedágio, no ano 0
 - f. VHP no sentido do pico
 - g. VHP no contra fluxo
 - h. Capacidade da praça de pedágio
 - i. Comprimento: da zona de cobrança, da zona de divergência e de convergência; Taxa de variação; Comprimento total da praça
- Perfil transversal da praça de pedágio
- Evolução do número de pistas necessárias

7 CASO PRÁTICO

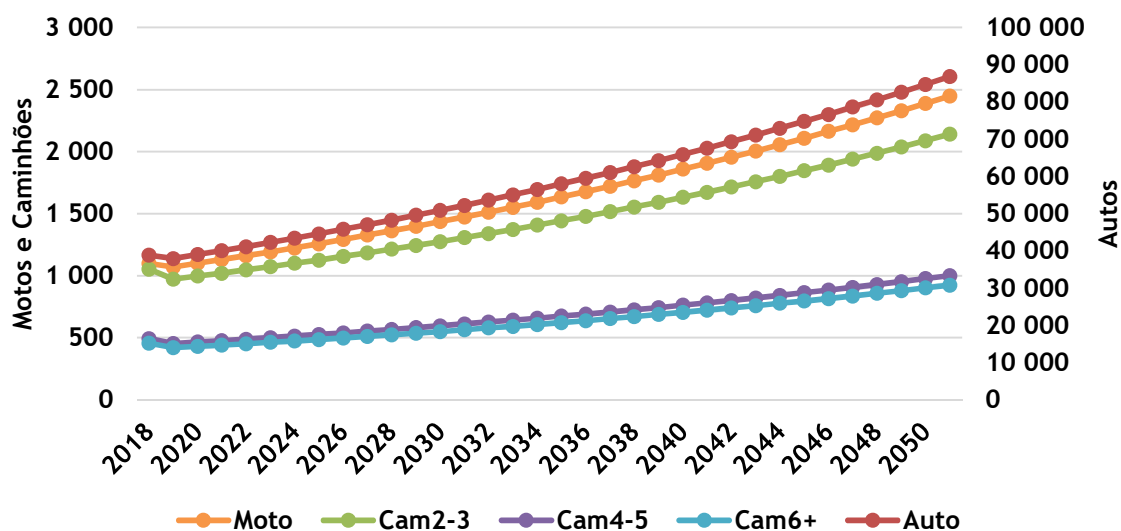
Apresenta-se neste capítulo o cálculo do dimensionamento para uma praça fictícia, de cobrança bidirecional. Os inputs considerados no cálculo do dimensionamento foram os seguintes:

- Inputs Principais
 - Previsões de demanda disponíveis: Não
 - Ano 0: 2018
 - VDM ano 0:
 - 40.000 leves
 - 2.000 caminhões
 - Ano de introdução do pedágio: Ano 1 (2019)
 - Quebra de demanda devido à introdução do pedágio:
 - Leves: -5%
 - Caminhões: -10%
 - Tipo de praça: Bidirecional
 - Ano de análise: 2030
 - Fonte hora de dimensionamento: Pesquisas de campo
 - Hora de dimensionamento: 30ª hora
 - Região em estudo: Sul
 - Tipo de via: Via regional
 - Relação hora de pico / VDMA (Fator k): 12,5%
 - Sentido mais carregado na hora de pico: 70%
 - VHP sentido mais carregado: 8,8%
- Inputs Projeções de demanda
 - Elasticidades:
 - Leves ano 2019: 1,1
 - Leves ano 2051: 1,0
 - Caminhões ano 2019: 1,0
 - Caminhões ano 2051: 1,0
 - Crescimento PIB
 - Ano 1 ao ano 5: 2,5%
 - Estimativas de demanda ano 0:
 - 40.000 leves
 - 2.000 caminhões

- Estimativas de demanda ano 30:
 - 52.349 leves
 - 2.421 caminhões
- Taxa anual média:
 - 2,3% leves
 - 1,6% caminhões
- Inputs Operacionais
 - Evolução de AVI disponível: Não
 - Percentagem de AVI no ano inicial:
 - Leves: 10%
 - Caminhões: 30%
 - Utilização de cancela nas pistas AVI: Não
 - Utilização de AVI nas motos: Sim
 - Utilização de papa-filas: Sim
 - Utilização de pistas partilhadas (motos e autos): Sim
 - N° de faixas da rodovia: 4
 - Largura da faixa: 3,5 metros
 - Largura do separador central: 2,0 metros
- Dimensionamento
 - Largura das pistas da rodovia:
 - Eletrônicas, manuais e mistas: 3,5m
 - Partilhadas: 4,0m
 - Livres (Extra largas): 6,5m
 - Largura dos ilhéus: 1,8m
 - Comprimento da zona de cobrança: 60m
 - Taxa de variação: 1/7

Com base nos valores apresentados anteriormente obtiveram-se os valores de demanda apresentados no gráfico seguinte:

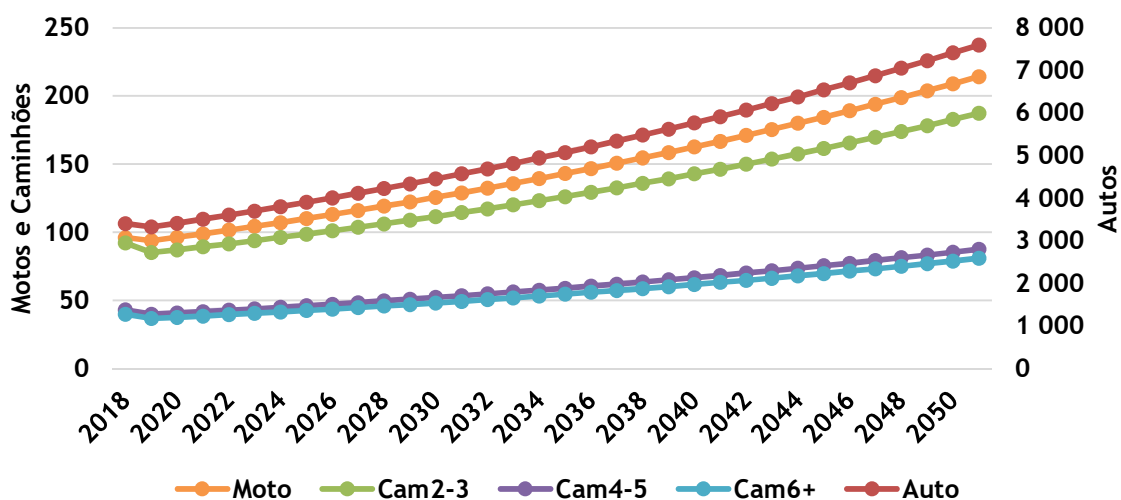
Gráfico 2 - Previsões de demanda



7.1 Volume horário de projeto

Apresenta-se no gráfico seguinte o VHP para o sentido mais carregado.

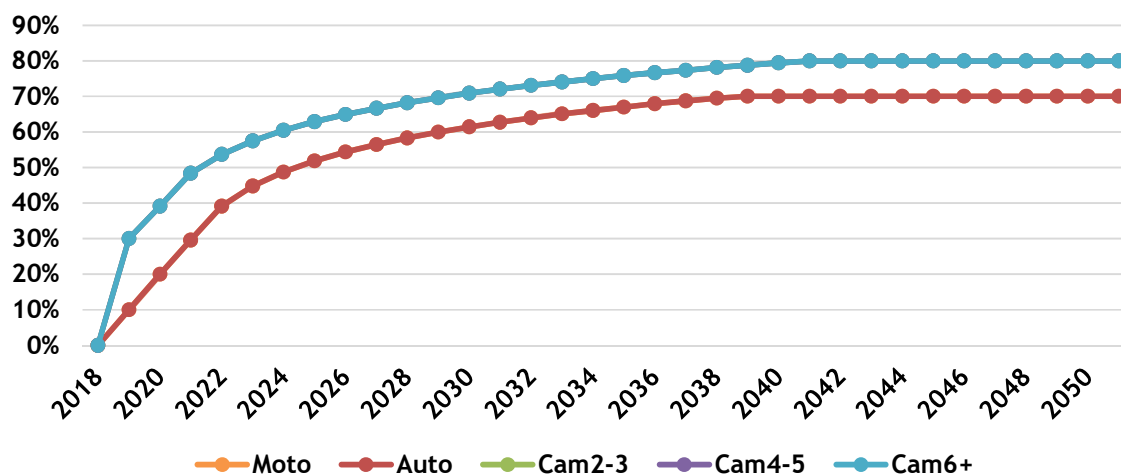
Gráfico 3 - VHP no sentido mais carregado



7.2 Evolução da utilização de AVI

Apresenta-se no gráfico seguinte a evolução do % de utilização de AVI para todo o período de operação, tendo-se admitido que as motos poderão utilizar o sistema AVI.

Gráfico 4 - Evolução de utilização de AVI



7.3 Número de pistas necessárias

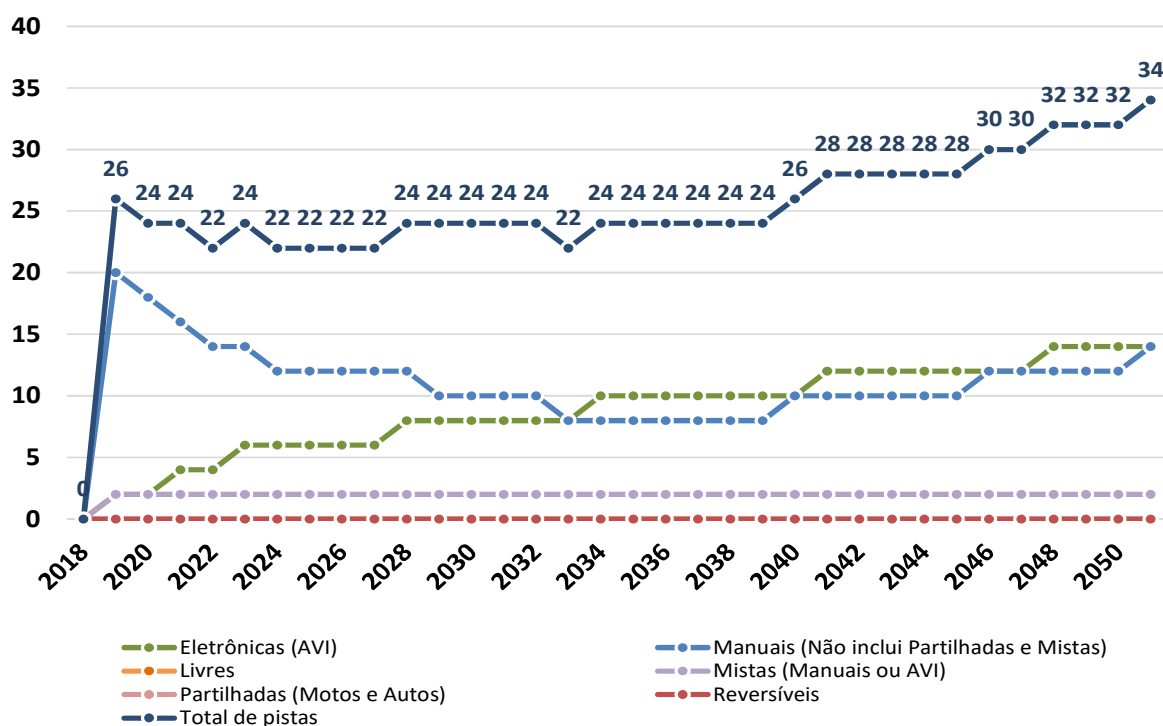
Apresenta-se na tabela seguinte o número de pistas necessárias.

Tabela 20 - Número de pistas necessárias

Tipo de pista	2030
Eletrônica (AVI)	8
Eletrônica (AVI) não reversível	8
Eletrônica (AVI) reversível	0
Manual	10
Manual não reversível	10
Manual reversível	0
Livre	2
Mista (Manual/AVI)	2
Partilhada Motos/Autos	2
Total	24

Apresenta-se no gráfico seguinte a evolução do número de pistas necessárias para todo o período de operação.

Gráfico 5 - Número de pistas necessárias



7.4 Parâmetros geométricos

Tendo-se considerado cobrança bidirecional para a praça fictícia em análise, os parâmetros geométricos são calculados com base nas seguintes fórmulas:

Largura total da praça para o ano 2030 - somatório das seguintes parcelas:

- Largura pista cobrança eletrônica (3,5m) x N° pistas de cobrança eletrônica (8 pistas)
- Largura pista manual (3,5m) x N° pistas manuais (10)
- Largura pista mista (3,5m) x N° pistas mistas (2)
- Largura pista cobrança partilhada (4,0m) x N° pistas partilhadas (2)
- Largura pista extra larga (livre) (6,5m) x N° pistas extra largas (2)
- Largura ilhéus (1,8m) x (N° pistas eletrônicas (8) + N° pistas manuais (10) + N° pistas mistas (2) + N° pistas livres (2) - 1)
- Largura ilhéus contíguos a pistas partilhadas (1,3) x N° pistas partilhadas (2)
- Largura do separador central (2)

Resultando uma largura de 133,4 metros

Extensão total da praça para o ano 2030 - somatório das seguintes parcelas:

- Comprimento da zona de cobrança (60 metros)
- Comprimento da zona de divergência

- Comprimento da zona de convergência

Para praças de cobrança bidirecional o comprimento da zona de divergência e de convergência é calculado com base na seguinte fórmula:

- $(\text{Largura total da praça de pedágio} / 2 - \text{Largura separador central}) \times (1 / \text{Taxa de variação}) - \text{N}^\circ \text{ de faixas} \times \text{largura das faixas} \times (1 / \text{Taxa de variação})$, ou seja, $(133,4 / 2 - 2) \times 7 - 3,5 \times 4 / 2 \times 7$

Resultando assim uma extensão total de 867,8 metros.