

MANUAL DE PLANEAMENTO DAS ACESSIBILIDADES E DA GESTÃO VIÁRIA

06

ROTUNDAS

Ana Maria Bastos Silva

Professora Auxiliar da Faculdade de Ciências e
Tecnologia da Universidade de Coimbra

Álvaro Jorge da Maia Seco

Professor Associado da Faculdade de Ciências e
Tecnologia da Universidade de Coimbra

– Dezembro de 2008

Ficha técnica

COLECTÂNEA EDITORIAL

Manual de Planeamento das Acessibilidades e da Gestão Viária
(13 volumes)

EDIÇÃO

Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte (CCDR-N)
Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território

COORDENAÇÃO INSTITUCIONAL

Júlio Pereira (Director de Serviços de Desenvolvimento Regional/
CCDR-N)
Mário Neves (CCDR-N)
Ricardo Sousa (CCDR-N)

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Américo Henriques Pires da Costa (Faculdade de Engenharia da
Universidade do Porto)

Álvaro Jorge Maia Seco (Faculdade de Ciências e Tecnologia da
Universidade de Coimbra)

ACOMPANHAMENTO

Composição da Comissão de Acompanhamento: CDDR-N, Gabinete de Coordenação dos Serviços de Apoio Local, Gabinete de Apoio Técnico do Vale do Lima, Gabinete de Apoio Técnico do Vale do Douro Superior, Gabinete de Apoio Técnico de Entre Douro e Vouga, Coordenador Regional da Medida 3.15 - Acessibilidades e Transportes do ON - Operação Norte, Direcção de Estradas do Porto do Instituto das Estradas de Portugal, Direcção Regional de Viação do Norte, Direcção Regional de Transportes Terrestres do Norte, Município de Matosinhos, Município de Vila Real, Município de Sernancelhe, Transportes Urbanos de Braga

COORDENAÇÃO EDITORIAL

Gabinete de Marketing e Comunicação da CCDR-N

DESIGN E PAGINAÇÃO

PRODUÇÃO

ISBN

DEPÓSITO LEGAL

DATA

Os conteúdos expressos neste documento são da estrita responsabilidade dos seus autores

Apresentação

A presente colecção editorial intitulada “Manual de Planeamento das Acessibilidades e da Gestão Viária”, promovida pela Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte (CCDR-N) no seu Programa de Estudos no domínio das Políticas Públicas Locais “Análise de Casos e Elaboração de Guias de Boas Práticas em Sectores Prioritários”, tem a responsabilidade técnica de uma parceria entre a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) e a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

O carácter eminentemente técnico desta colecção, traduzido num conjunto de linhas de orientação e recomendações das melhores práticas, baseadas em experiências nacionais e estrangeiras, contribuirá, estamos certos, para que se afirme como um elemento essencial na adopção das soluções mais adequadas.

Ciente da importância desta matéria para o desenvolvimento do Norte de Portugal, a CCDDR-N promoveu o envolvimento dos potenciais destinatários, convidando um amplo conjunto de entidades a integrar uma Comissão de Acompanhamento que emitiu os seus contributos e, nomeadamente, através da participação em três sessões de trabalho temáticas (Acessibilidades e Elementos de Tráfego; Cruzamentos e Sinalização e Mobilidade Urbana), onde se procedeu a uma apreciação global positiva do trabalho apresentado, antes de uma última revisão técnica da responsabilidade dos autores.

Não podemos deixar de subscrever o então sublinhado pelos membros da Comissão de Acompanhamento em relação à importância de novos contributos como este que permitam colmatar aquela que tem sido uma das fragilidades da intervenção em matéria de infra-estruturas e serviços de transporte - a carência em legislação específica, quer ao nível municipal, quer na articulação entre as redes municipais e as redes nacionais.

Esta coleção editorial não pretende constituir-se como um conjunto de normativos ou disposições legais mas, ao facilitar uma racionalização e harmonização das intervenções e promover o diálogo entre os diferentes intervenientes (responsáveis políticos, técnicos das diversas valências, comunidades locais), representa um importante contributo para um processo de decisão informado e um referencial de “Boas Práticas” na adopção de melhores soluções.

ROTUNDAS

O InIR - Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias, I. P., tem como principal missão fiscalizar e supervisionar a gestão e exploração da rede rodoviária, controlando o cumprimento das leis e regulamentos e dos contratos de concessão e subconcessão, de modo a assegurar a realização do Plano Rodoviário Nacional e a garantir a eficiência, equidade, qualidade e a segurança das Infra-estruturas, bem como os direitos dos utentes.

No âmbito das suas atribuições cabe exclusivamente ao InIR, I.P., a competência para o exercício de funções de Autoridade de Normalização em matéria de infra-estruturas rodoviárias, para a Rede Rodoviária Nacional, onde se incluem as Auto-estradas, Itinerários Principais e Complementares e a rede de Estradas Nacionais.

O InIR, I.P. tem vindo, nesse papel, a promover a elaboração de documentos normativos nacionais, necessários à boa execução, conservação, operação e manutenção das infra-estruturas rodoviárias. Um primeiro lote de documentos produzido encontra-se disponível para consulta no site oficial do InIR, I.P., na sua versão de Documento Base. Uma vez terminada a fase de análise e recolha de contributos aos documentos, dar-se-á início à produção da respectiva versão final, a publicar oportunamente.

Sublinhe-se que, sem prejuízo da qualidade e relevância da iniciativa, matérias contidas no Manual das Acessibilidades e Gestão Viária e versando temáticas relacionadas com as Estradas do Plano Rodoviário Nacional são da estrita responsabilidade técnica dos seus autores e editores, e não constituem matéria normativa para o Sector. Nesse domínio deve atender-se à documentação específica, produzida e divulgada pelo InIR - Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias, I. P., através do site www.inir.pt.

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO CONCEITO DE ROTUNDA	11
1.2 OBJECTIVOS DO ESTUDO	11
2. TIPOLOGIAS, POTENCIAL DE DESEMPENHO E DOMÍNIO DE APLICAÇÃO DAS ROTUNDAS	12
2.1 DEFINIÇÃO E DOMÍNIO DE APLICABILIDADE DAS ROTUNDAS	12
2.2 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMENTO	13
2.3 POTENCIAL E CONDIÇÕES DE APLICABILIDADE DAS ROTUNDAS	14
2.3.1 GENERALIDADES	14
2.3.2 AMBIENTE RODOVIÁRIO E CARACTERÍSTICAS LOCAIS	14
2.3.3 CONDIÇÕES DE CIRCULAÇÃO	16
2.3.4 NÚMERO E CARACTERÍSTICAS DAS VIAS INTERSECTADAS	18
2.3.5 SEGURANÇA E CONTROLO DO COMPORTAMENTO	18
2.3.6 CONDIÇÕES TOPOGRÁFICAS E LOCALIZAÇÃO	19
2.3.7 AMBIENTE E URBANISMO	19
2.3.8 PRINCIPAIS DESVANTAGENS E CONDICIONANTES DE APLICAÇÃO	19
2.4 TIPOLOGIAS E APLICABILIDADE DAS ROTUNDAS	20
2.4.1 ROTUNDA NORMAL E ROTUNDA SEMI-GALGÁVEL	20
2.4.2 MINI-ROTUNDA	21
2.4.3 ROTUNDAS DESNIVELADAS	23
2.4.4 OUTRAS SOLUÇÕES GIRATÓRIAS	24
2.4.4.1 Rotunda Dupla e com disposição em anel	24
2.4.4.2 Rotundas Semaforizadas	25
2.4.4.3 Rotundas Furadas	25
3 PRINCÍPIOS BASE DE CONCEPÇÃO GEOMÉTRICA DE ROTUNDAS	25
3.1 INTRODUÇÃO	25
3.2 PRINCÍPIOS GERAIS DE DIMENSIONAMENTO	26
3.2.1 PRINCÍPIO DA LEGIBILIDADE	26
3.2.2 PRINCÍPIO DA AMENIDADE DE CIRCULAÇÃO E SEGURANÇA	27
3.2.3 PRINCÍPIO DA GARANTIA DO NÍVEL DE SERVIÇO ADEQUADO	28
3.2.4 A SOLUÇÃO INTEGRADA	28
3.3 METODOLOGIA DE DIMENSIONAMENTO	29
4 REGRAS DE PROJECTO GEOMÉTRICO	30
4.1 INTRODUÇÃO	30

4.2 VEÍCULO DE PROJECTO	30
4.3 DISPOSIÇÃO DOS RAMOS AFLUENTES E POSICIONAMENTO DA ILHA CENTRAL	31
4.4 DIMENSIONAMENTO DAS ENTRADAS	32
4.4.1 APROXIMAÇÃO E PERCEPÇÃO DA ENTRADA	32
4.4.2 NÚMERO DE VIAS E LARGURA DAS ENTRADAS	33
4.4.3 ÂNGULOS DE ENTRADA	34
4.4.4 RAIOS DE ENTRADA	35
4.4.5 ILHÉU SEPARADOR	36
4.4.6 Adequação das Velocidades de Entrada	38
4.5 ANEL DE CIRCULAÇÃO	39
4.6 DIMENSÃO GERAL DA ROTUNDA E ILHA CENTRAL	41
4.7 DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS	42
4.7.1 LARGURA DAS SAÍDAS	43
4.7.2 RAO DE SAÍDA	43
4.8 CRITÉRIOS DE VISIBILIDADE	44
4.9 CANALIZAÇÃO DE MOVIMENTOS	46
4.10 DEFLEXÃO DOS MOVIMENTOS	47
4.11 HOMOGENEIDADE DE TRAÇADO E CONSISTÊNCIA DE VELOCIDADES	48
4.12 A EXPECTATIVA DO CONDUTOR FACE A SOLUÇÕES COM MÚLTIPLAS VIAS	50
4.13 DISPOSITIVOS COMPLEMENTARES	50
4.14 VIAS SEGREGADAS DE VIRAGEM À DIREITA	51
4.15 DEFINIÇÃO DE BERMAS	51
4.16 INCLINAÇÕES LONGITUDINAIS	52
4.17 SOBREELEVAÇÃO	53
4.18 ORDENAMENTOS ESPECÍFICOS	55
4.18.1 PEÕES	55
4.18.2 ORDENAMENTOS PARA CICLISTAS	56
4.18.3 TRANSPORTES PÚBLICOS	57
4.18. 4 ACESSOS DIRECTOS E ESTACIONAMENTO	57
4.18.5 INTEGRAÇÃO PAISAGÍSTICA E TRATAMENTO DA ILHA CENTRAL	58
4.18.6 ILUMINAÇÃO PÚBLICA E SEGURANÇA NOCTURNA	59
5 SINALIZAÇÃO	62
5.1 SINALIZAÇÃO HORIZONTAL	62
5.1.1 JUNTO À ENTRADA E SAÍDA	64
5.1.2 ANEL DE CIRCULAÇÃO	66
5.1.3 MARCAS ESPECIAIS DURANTE A APROXIMAÇÃO	67
5.2 SINALIZAÇÃO VERTICAL DE REGULAMENTAÇÃO	67
5.3 SINALIZAÇÃO VERTICAL DE ORIENTAÇÃO	69
5.3.1 SISTEMA INFORMATIVOS EM ROTUNDAS	69
5.3.1.1 Sistema Informativo Base	69
5.3.1.2 Sistema Informativo na Rede Secundária de Arruamentos	70
5.3.2 PRÉ-AVISOS GRÁFICOS	70

5.3.3 SINAIS DE SELECÇÃO DE VIAS	70
5.3.4 SINAIS DE DIRECÇÃO	70
5.3.5 SINAIS DE CONFIRMAÇÃO	71
6 MODELOS DE PREVISÃO DE CAPACIDADES EM ENTRADAS DE ROTUNDAS	71
6.1 CONCEITO DE CAPACIDADE	71
6.2 RECOLHA DE DADOS	72
6.2.1 MÉTODO GERAL POR REGISTO DE MATRÍCULAS	72
6.2.2 CASO PARTICULAR DE ROTUNDAS COM 3 RAMOS	73
6.2.3 CASO PARTICULAR DE ROTUNDAS COM 4 RAMOS, PARA MOVIMENTOS DE INVERSÃO DE MARCHA NEGLIGENCIÁVEIS	73
6.2.4 CASO PARTICULAR DE SE PRETENDER APENAS OS FLUXOS CONFLITUANTES	74
6.3 FLUXOS DE DIMENSIONAMENTO E CONVERSÃO EM UNIDADES DE VEÍCULOS EQUIVALENTES (U.V.L.E.)	74
6.4 MÉTODOS DE CÁLCULO DE CAPACIDADES	75
6.4.1 O MÉTODO DO TRL	76
6.4.2 O MÉTODO DO SETRA	77
6.4.3 O MODELO DA FCTUC	77
6.4.4 RECOMENDAÇÕES PARA O CÁLCULO DE CAPACIDADES EM ROTUNDAS PORTUGUESAS	78
6.4.5 NÍVEIS DE CAPACIDADE TÍPICOS EM ROTUNDAS	79
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR	83

ROTUNDAS

GLOSSÁRIO

Rotunda ou intersecção giratória - Tipo de intersecção caracterizado pela convergência de diversos ramos de sentido único ou não, numa praça central de forma geralmente circular, em torno da qual é estabelecido um sentido único de circulação, na direcção inversa à dos ponteiros do relógio, considerado prioritário em relação aos fluxos de entrada.

Anel de circulação - Faixa de rodagem em torno da ilha central de uma rotunda, na qual é estabelecido um sentido único de circulação.

Ângulo de entrada - Ângulo formado pela tangente ao eixo do conjunto de vias de entrada de uma rotunda junto à linha de cedência de passagem e a tangente ao eixo do anel no ponto de intersecção com a tangente anterior. No caso de dois ramos consecutivos muito próximos (afastados de menos de 20m entre os bicos extremos dos ilhéus separadores) o ângulo deve ser medido entre o eixo do conjunto das vias de entrada e do conjunto das vias da saída consecutiva.

Aproximação da entrada de uma rotunda - Troço da via que antecede uma determinada entrada na rotunda.

Canalização de movimentos - Conjunto de medidas que permite orientar e/ou condicionar o condutor no processo decisório sobre a trajectória a tomar.

Capacidade da entrada de uma rotunda (Q_e) - Valor máximo do débito (também referido como “fluxo”) da corrente de entrada (corrente secundária) que, ao longo de um determinado período de tempo, consegue continuamente inserir-se no anel de circulação (corrente principal), durante o qual, é garantida a formação de uma fila de espera contínua na aproximação a essa entrada. Depende da geometria e da distribuição direcciona do tráfego das diferentes entradas.

Capacidade geométrica de uma entrada de uma rotunda - Máximo débito da corrente de entrada que consegue inserir-se no anel de circulação, quando o fluxo prioritário que aí circula é nulo. Representa a capacidade da entrada unicamente condicionada pelas suas características geométricas e corresponde, em termos dos modelos de previsão de capacidades, à ordenada na origem.

Cruzamento desfasado - Corresponde a dois entroncamentos (intersecções em T), situados em direcções opostas e ligeiramente desencontrados.

Deflexão mínima dos movimentos - Estratégia de concepção que procura assegurar que nenhum condutor consegue atravessar uma determinada intersecção sem estar sujeito a uma curvatura mínima e, portanto, a um incómodo mínimo resultante da actuação da força centrífuga. Permite salvaguardar que o atravessamento de uma rotunda não pode ser realizado de forma linear e dessa forma com velocidades elevadas.

Demora numa intersecção - Atraso total que cada condutor sofre pelas variações de velocidade e paragens efectuadas durante a aproximação, atravessamento e saída de uma intersecção.

Demora geométrica - Atraso, medido em unidade de tempo, imposto a um veículo em resultado da variação da aceleração longitudinal e lateral gerada pela simples existência da intersecção, independentemente da existência ou ausência de qualquer outro veículo.

Diâmetro da ilha central - Diâmetro do círculo formado pelo elemento delimitador da ilha central (lancil no caso das ilhas intransponíveis). Não se trata

necessariamente de um único diâmetro podendo, sempre que se considere conveniente, utilizar concordâncias formadas por diversas curvas circulares e segmentos rectos.

Diâmetro do círculo inscrito de uma entrada na rotunda (DCI) – Diâmetro do maior círculo que é possível inscrever na delimitação exterior da rotunda e que passe tangente à linha de cedência de passagem de uma determinada entrada. Uma rotunda pode dispor de diferentes DCI associados a cada uma das entradas.

Distância de visibilidade de paragem (DP) – Distância necessária para que o condutor de um veículo que circula a determinada velocidade e cujos olhos se situam a 1.05m de altura, se possa aperceber da existência de um obstáculo com 0,15m de altura e travar o veículo, de forma a parar antes de atingir esse mesmo obstáculo.

Faixa de ocupação do veículo de projecto (*f_o*) – Corresponde ao espaço mínimo requerido para circulação do veículo de projecto.

Faixa de rodagem – Parte da estrada particularmente destinada à circulação dos veículos, excluindo bermas e vias auxiliares.

Função acessibilidade – Função atribuída a uma determinada via integrada numa rede funcionalmente hierarquizada, caracterizada por assegurar os acessos directos a propriedades, o estacionamento, a circulação pedonal e pela promoção da mobilidade dos veículos a velocidade baixa.

Função mobilidade – Função atribuída a uma determinada via integrada numa rede funcionalmente hierarquizada, caracterizada pela promoção do conforto, segurança e rapidez de circulação automóvel em detrimento do acesso e estacionamento.

Grau de saturação de uma entrada – Relação, usualmente expressa em forma de percentagem, entre o fluxo de chegada, durante um determinado período de tempo e perante um determinado débito e tipo de tráfego prioritário, e a capacidade da entrada, perante os mesmos débitos prioritários, ao longo do mesmo período de tempo.

Ilha central de uma rotunda – Ilhéu central de forma circular ou aproximadamente circular, localizada no centro de uma rotunda e em torno do qual se estabelece um sentido único de circulação.

Ilhéu separador de uma rotunda – Ilhéu direcciona l que separa as correntes de tráfego de saída e entrada numa rotunda, a partir de um determinado ramo afluente.

Ilhéu deflector de uma rotunda – Ilhéu direcciona l que impõe deflexão aos movimentos de entrada. Consoante as situações, poderá corresponder ao ilhéu separador ou a eventuais ilhéus complementares.

Intervalo crítico (*α*) – Corresponde ao intervalo de tempo disponível entre a passagem de dois veículos sucessivos na corrente prioritária, abaixo do qual nenhum veículo da via secundária aceita transpor a linha de cedência de passagem e inserir-se na corrente prioritária.

Intervalo complementar (*β*) – Representa o tempo médio necessário para que o 2º veículo em fila de espera na corrente secundária, atinja a linha de cedência de passagem, após a partida do 1º veículo.

Largura da via na aproximação (*v*) – Largura da via, para um único sentido de circulação, no troço de aproximação (antes do início da formação do leque).

Leque – Área do conjunto das vias de entrada, delimitada pela linha de cedência de passagem e a secção transversal onde se inicia o aumento da largura ou do número das vias de entrada.

Linha de cedência de passagem – Linha descontínua que, junto às entradas, delimita o anel de circulação e onde, se necessário, o condutor deve parar e aguardar pela disponibilização de um intervalo entre veículos aceitável, para se inserir na corrente prioritária.

Parâmetros geométricos da rotunda – Conjunto de parâmetros geométricos caracterizadores das entradas ou da rotunda no seu todo e dos quais depende o desempenho global da intersecção.

Prato da rotunda – Conjunto formado pela ilha central, anel de circulação e eventuais bermas e/ou passeios.

Painel de pré-aviso gráfico – Sinal de orientação localizado na aproximação da intersecção, no qual se representam os diferentes destinos a que cada ramo dá acesso.

Raio de entrada – Raio definido pela delimitação do lancil ao longo de aproximadamente 20 metros junto à linha de cedência de passagem.

Raio de curvatura de entrada – Raio de entrada associado à trajectória correcta de mínimo incómodo.

Raio de curvatura de contorno – Raio de contorno da ilha central associado à trajectória correcta de mínimo incómodo.

Raio de curvatura de saída – Raio de saída associado à trajectória correcta de mínimo incómodo.

Raio exterior – Maior raio que é possível inscrever no interior da rotunda. Em termos práticos corresponde a metade do diâmetro do círculo inscrito.

Restabelecimento de um acesso – Rectificações efectuadas ao traçado das vias na aproximação de intersecções, no sentido de lhe facultar as devidas condições de inserção.

Tráfego conflituante (*Q_c*) – Fluxo de veículos da corrente prioritária que conflitua com os veículos que se pretendem inserir no interior da rotunda, durante um determinado período de tempo. Em função dos modelos de previsão considerados, o tráfego conflituante poderá ser constituído unicamente pelo tráfego prioritário que atravessa frontalmente a entrada em análise (tráfego de atravessamento - *Q_t*) ou por uma combinação deste com o tráfego que abandona a rotunda na saída imediatamente anterior (*tráfego de saída* - *Q_s*).

Tráfego de atravessamento (*Q_t*) – Fluxo de veículos inserido na corrente prioritária de circulação no anel e que atravessa frontalmente a entrada em análise.

Tráfego de saída (*Q_s*) – Fluxo de veículos inseridos na corrente prioritária e que abandonam o anel de circulação na saída imediatamente anterior à entrada em análise.

Trajectória correcta de mínimo incómodo – Trajectória mais rectilínea (mais directa) associada a um determinado movimento direcciona l que é possível inscrever numa determinada solução geométrica, respeitando os elementos físicos restritivos da solução e as linhas longitudinais delimitadoras das vias de circulação.

Trajectória de mínimo incómodo – Trajectória mais rectilínea associada a um determinado movimento direcciona l que é possível inscrever respeitando apenas os elementos físicos restritivos e ignorando eventuais marcas rodoviárias.

Tempo de espera – Atraso, expresso em unidade de tempo, resultante das interacções entre veículos numa intersecção.

Unidade de veículos ligeiros equivalentes (*uvle*) – Medida utilizada nas análises de capacidade de diferentes elementos infraestruturais e que envolve a conversão dos diferentes tipos de veículos em volumes de veículos ligeiros que, em função das características locais, tenham um impacto equivalente sobre o seu desempenho.

Veículo de projecto – Veículo que determina as exigências/condições de projecto.

Velocidade de aproximação – Velocidade representativa (usualmente considerada como a correspondente ao percentil de 85% da distribuição das velocidades) do tráfego no troço de aproximação a um determinado local.

Via colectora – Termo genérico para representar a classe de estradas urbanas de maior importância rodoviária, integradas nas designadas vias estruturantes e, onde a função de mobilidade é praticamente exclusiva.

Via de acesso local - Termo genérico para representar a classe de estradas urbanas de menor importância rodoviária, integradas na classe de vias locais. Trata-se de ruas destinadas quase exclusivamente a servir os acessos directos às habitações e propriedades e onde se deve beneficiar a circulação pedonal, ciclista e o estacionamento, não devendo haver praticamente nenhuma função mobilidade.

Via distribuidora local - Termo genérico para representar a classe de estradas urbanas de maior importância rodoviária integradas na classe de vias locais e, por sua vez, onde a função acessibilidade prevalece em relação à mobilidade. Representa o tipo de vias que interliga as vias estruturantes às vias de acesso local, constituindo a rede básica dos espaços locais.

Via distribuidora principal - Termo genérico para representar a classe de estradas urbanas de menor importância integradas nas designadas vias estruturantes e, onde a função mobilidade prevalece em relação ao acesso. Constitui o tipo de vias que interliga as vias estruturantes às vias locais, constituindo a rede penetrante no espaço urbano.

Via estruturante - Classe de vias dimensionadas para promover predominantemente a rapidez e conforto de circulação em detrimento da função acessibilidade.

Via local - Classe de vias dimensionadas para promover predominantemente, a função acessibilidade em detrimento da circulação automóvel. Valoriza-se o acesso directo a propriedades, estacionamento, a circulação pedonal e ciclista bem como a vivência urbana local em geral.

Via prioritária - Via na qual circulam os veículos considerados prioritários em relação a uma outra via considerada secundária. A prioridade de passagem é normalmente atribuída à via que apresenta maiores níveis de procura.

Via secundária - Via na qual circulam os veículos que perdem o direito de passagem em relação a uma outra via considerada prioritária.

SIMBOLOGIA

Entidades:

- FCTUC - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra - Portugal
- IEP - Instituto de Estradas de Portugal
- JAЕ - Junta Autónoma de Estradas - Portugal
- RRL - Road Research Laboratory - U.K. (antigo TRRL)
- TRRL - Transport and Road Research Laboratory -U.K. (actualmente TRL)
- SETRA - Services d’Etudes Techniques des Routes et Autoroutes

Parâmetros Geométricos:

- ANN - Largura do anel de circulação em torno da ilha central (m), conforme a DCI
- DCI - Diâmetro do Círculo Inscrito
- DP - Distância de Visibilidade de Paragem
- e - Largura efectiva da entrada, medida na transversal junto à linha de cedência de passagem
- fo - Faixa de ocupação do veículo projecto
- l’ - Comprimento efectivo do leque
- r - Raio de entrada, medido junto à linha de cedência de passagem
- v - Largura da via na aproximação
- φ- Ângulo de entrada

Fluxos de Circulação e suas Características:

- L - Comprimento médio das filas de espera
- N - Número total de veículos em fila de espera
- Q_c - Fluxo conflituante, constituído pela combinação de Q_s e Q_t
- Q_e- Capacidade da entrada de uma rotunda
- Q_{ent}- Fluxo de chegada a uma determinada entrada
- W - Tempo de espera médio
- α - Intervalo crítico

1. INTRODUÇÃO

1.1 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO CONCEITO DE ROTUNDA

A construção de intersecções giratórias remonta à Idade Média, muito antes do aparecimento do veículo automóvel. Nessa altura a sua adopção era meramente associada à renovação de tecidos urbanos, tendo sido frequentemente utilizadas nos planos de urbanização de algumas cidades da Europa e América do Norte e do Sul. A função de gestão da circulação apenas lhe foi atribuída no início do Séc. XX pelo arquitecto francês *Hénard* que desenvolveu o conceito de “rotunda” enquanto foco de convergência radial de grandes avenidas onde era estabelecido um sentido único de circulação em torno de uma ilha central. Por vezes, esse modo de circulação era conseguido pela simples adaptação de bairros ou quarteirões.

A utilização da “regra de prioridade à direita”, de uso praticamente generalizado em todo o mundo, foi o principal motivo do abandono das rotundas em muitos países, durante a década de 20. A sucessiva paragem dos veículos no interior da intersecção traduzia-se na imposição de demoras acentuadas à normal circulação, resultando frequentemente no bloqueio global da rotunda. O aumento sistemático dos níveis de procura de tráfego exigia cada vez maiores níveis de capacidade à intersecção, o que se veio a traduzir numa sistemática necessidade de aumentar a extensão das zonas de entrecruzamento e, por consequência, a dimensão geral da rotunda. Os condicionalismos de espaço característicos da generalidade das zonas urbanas e sub-urbanas, obrigou à procura de soluções alternativas.

Surge assim, em Inglaterra, em 1967, a regra da “prioridade a quem circula no anel da rotunda”, obrigando todos os veículos junto às entradas, a cederem o direito de passagem aos veículos que circulam no correspondente anel de circulação. Tal regra traduziu-se em resultados extremamente positivos com reflexos quer ao nível da capacidade quer da segurança estando ainda na base de uma nova filosofia de concepção de rotundas. A capacidade das soluções deixa de depender da extensão dos troços de entrecruzamento para passar a depender essencialmente da geometria de cada entrada, passando o seu funcionamento a ser comparável a uma sucessão de cruzamentos em “T”. A disseminação destes resultados suscitou o interesse de diferentes países da Europa, assim como da Austrália e Nova Zelândia, os quais adoptaram o referido conceito e de imediato promoveram o desenvolvimento de projectos de investigação aplicada e a elaboração de manuais de apoio ao seu dimensionamento.

Portugal não fugiu à regra e desde a década de 80 que as rotundas se difundem um pouco por todo o país, abrangendo actualmente quer zonas urbanas quer interurbanas. A revisão do Código da Estrada em 1994, institucionalizou a regra de “prioridade a quem circula no anel da rotunda” e a JAE (actualmente EP) integrou nas normas de intersecções (JAE, 1994), regras práticas para apoio à concepção geométrica de rotundas. Essas regras fortemente baseadas nas normas francesas do SETRA (SETRA, 1984), mostraram em múltiplas situações, desajustar-se à realidade nacional e, em particular, às características dos condutores portugueses, justificando a sua revisão e complemento, tendo por base aquelas que são as práticas internacionais mais recentes nesta matéria. Este documento procura responder a essa necessidade e apresenta-se no seguimento de um trabalho desenvolvido pela FCTUC para as EP (Bastos Silva et. al., 1998), centrado na definição de princípios e de regras de apoio ao dimensionamento de rotundas.

1.2 OBJECTIVOS DO ESTUDO

Apesar da acentuada utilização da solução rotunda, particularmente ao longo das duas últimas décadas, verifica-se que em Portugal muitos projectos de execução continuam a ser elaborados à margem de qualquer disposição

técnica, recomendação ou norma de concepção, sendo habitualmente negligenciada a importância do ajuste da solução às características da procura local.

Essa preocupação tornou-se particularmente relevante durante a década de 90, quando é finalmente institucionalizada a regra de “*prioridade a quem circula no anel da rotunda*” e a sua aplicabilidade se estendeu às estradas de importância regional e nacional. A heterogeneidade das soluções implementadas, agravada pela frequente violação dos princípios básicos de segurança, reforça a necessidade de se dispor, em Portugal, de textos técnicos, dirigidos aos projectistas e gestores das redes rodoviárias, para suporte das suas decisões técnicas.

Por outro lado, a investigação aplicada ao domínio das rotundas desenvolvida a nível nacional, nomeadamente através de estudos conducentes a um melhor conhecimento do comportamento do condutor face a diferentes soluções geométricas, tem permitido consolidar alguns dos princípios e regras de dimensionamento com reflexos na promoção da operacionalidade, fluidez e segurança rodoviária. Também o levantamento do estado da arte a nível internacional e a avaliação das variadas experiências estrangeiras quer no campo da concepção geométrica quer no domínio da previsão de capacidades em rotundas se revela fundamental ao devido conhecimento das potencialidades e limitações deste tipo de soluções.

Nessa óptica, este texto procura constituir um documento técnico de apoio ao dimensionamento de rotundas em Portugal, em resultado de uma compilação integrada daqueles que são os principais resultados retirados da investigação desenvolvida pela FCTUC ao longo das duas últimas décadas e daquele que é o estado da arte a nível internacional nesta matéria. São apresentadas as condições privilegiadas de aplicação das diferentes tipologias de rotundas, os princípios e estratégias de dimensionamento e as regras gerais de concepção aplicadas aos diferentes elementos constituintes da rotunda, assim como um modelo de estimação de capacidades.

O documento foi organizado de forma a responder às diversas exigências e especificidades locais, pelo que o conteúdo aqui apresentado tem aplicabilidade quer em meio urbano quer inter-urbano. Nessa mesma linha de acção são apresentadas gamas alargadas de aplicabilidade para cada um dos relevantes parâmetros geométricos, especificando-se os valores ideais a aplicar em cada caso.

2. TIPOLOGIAS, POTENCIAL DE DESEMPENHO E DOMÍNIO DE APLICAÇÃO DAS ROTUNDAS

2.1 DEFINIÇÃO E DOMÍNIO DE APLICABILIDADE DAS ROTUNDAS

Entende-se por *Intersecção Giratória* (vulgarmente designada de rotunda) um ordenamento geométrico caracterizado pela convergência de diversos ramos de sentido único ou não, numa praça central de forma geralmente circular e intransponível, em torno da qual é estabelecido um sentido único de circulação (excepto em soluções excepcionais), assumido como prioritário em relação aos fluxos de entrada. Por sua vez, segundo o artigo 1º do Código da Estrada (DL n.º 114/94 de 3 de Maio, alterado pelos DL n.º 2/98, de 3 de Janeiro, DL n.º 265-A/2001, de 28 de Setembro e DL n.º 44/2005, de 23 de Setembro), identifica-se uma rotunda como sendo uma “praça formada por cruzamento ou entroncamento, onde o trânsito se processa em sentido giratório e sinalizada como tal”.

As considerações tecidas neste documento, aplicam-se a rotundas onde todos os movimentos de entrada sejam sujeitos a *cedência do direito de passagem* relativamente à corrente prioritária que contorna a ilha central. Excluem-se desta aplicação, as rotundas furadas, semaforizadas (excepto se estiver previsto que durante parte do tempo a semaforização esteja inactiva), ou regidas por qualquer outro princípio de regulação que não seja o previsto na lei vigente e consubstanciado através da alínea c) do ponto 1 do artº 31 do Dec-Lei nº44/2005 de 23 de Fevereiro.

2.2 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMENTO

As rotundas, quando comparadas com outro tipo de cruzamento tradicional de nível, apresentam uma forma de funcionamento extremamente simples e facilmente percebida pelos condutores, mesmo que não habituais. A obrigatoriedade de cedência do direito de passagem imposta aos movimentos de entrada e a imposição de deflexões adequadas aos movimentos de atravessamento, contribuem significativamente para a redução e homogeneização dos espectros de velocidade registados ao longo do troço de atravessamento. De facto, o tipo de regulamentação vigente induz à prática de conduções cordiais e harmoniosas às quais estão associadas taxas de sinistralidade extremamente baixas e a eliminação quase total (superior a 95%) dos acidentes com fatalidades (FHWA, 2000). Comparativamente ao cruzamento prioritário, a redução do nível de sinistralidade deve-se fundamentalmente à organização dos fluxos de tráfego num sentido único de circulação, o qual se traduz numa redução significativa do número de pontos de conflito (Figura 1) e na eliminação dos conflitos a 90º, aos quais estão associados acidentes graves. Por outro lado, a natural tendência de redução de velocidade durante a entrada e atravessamento traduz-se ainda numa acentuada diminuição da frequência e gravidade dos embates. Este perfil de velocidades, característico das rotundas geometricamente bem concebidas, está ainda normalmente associado a uma maior receptividade, por parte do condutor, para ceder o direito de passagem junto à entrada e em relação aos atravessamentos pedonais formais.

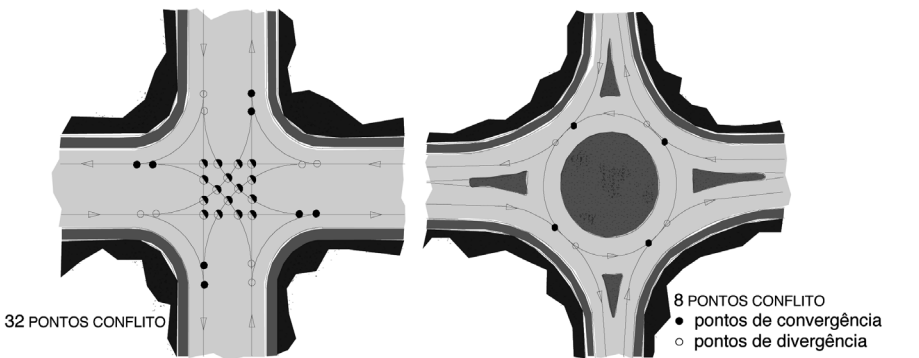


Figura 1 - Pontos de conflito em Cruzamentos Prioritários /Rotundas

Do ponto de vista da fluidez de trânsito, as rotundas podem assegurar elevados níveis de capacidade em resultado quer do número reduzido de pontos de conflito quer das velocidades moderadas que lhe estão associadas. De facto, esses dois factores, traduzem-se habitualmente na aceitação de *intervalos críticos* de menor duração o que se reflecte num aumento directo da capacidade das entradas e na diminuição das respectivas demoras médias.

2.3 POTENCIAL E CONDIÇÕES DE APLICABILIDADE DAS ROTUNDAS

2.3.1 GENERALIDADES

Nas suas diferentes formas, as rotundas apresentam uma gama alargada de aplicação sendo, por vezes, erradamente consideradas como soluções passíveis de uso generalizado e praticamente indiscriminado. Entre outras potencialidades, o seu custo reduzido associado aos elevados níveis de capacidade e de segurança, têm estado na origem da sua aplicação em diversos locais da rede rodoviária, por vezes, em situações inadequadas. Na realidade, a experiência internacional mostra que a rotunda, enquanto solução aplicada à regulação de intersecções, assume diferentes níveis de desempenho em função das características prevalentes dos locais onde são aplicadas, já que o ambiente envolvente, o tipo e características das vias intersectadas bem como as características das correntes do tráfego afluente, assumem um peso significativo no desempenho global da intersecção.

Nessa óptica, esta secção centra-se na apresentação, de forma resumida, das condições privilegiadas de aplicabilidade da solução rotunda, assim como na identificação das condições consideradas inapropriadas ou desaconselháveis à sua aplicação. De modo a facilitar a leitura, optou-se por apresentar essas condições de aplicação, segregadas por temáticas específicas.

2.3.2 AMBIENTE RODOVIÁRIO E CARACTERÍSTICAS LOCAIS

As rotundas caracterizam-se por apresentar um domínio de aplicação bastante alargado, garantindo excelentes desempenhos quer em zonas urbanas quer interurbanas (FHWA, 2000; DfT, 1993). São ainda frequentemente recomendadas para enfatizar zonas de transição, nomeadamente a entrada em zonas urbanas ou em espaços residenciais ou centrais, onde a alteração das características da envolância possa exigir alterações bruscas ao comportamento dos condutores. A redução de velocidade que, de uma forma física, é imposta aos condutores que acedem à rotunda, faz com que seja uma solução particularmente adequada à marcação de transições associadas à infraestrutura, tais como alterações às características geométricas ou funcionais dos eixos, alteração do perfil transversal tipo ou da tipologia de regulação dos cruzamentos.

A simplicidade geométrica da solução permite ajustar-se a intersecções geometricamente complexas e irregulares, sem que tal ponha em causa, de forma significativa, o funcionamento da intersecção ou a legibilidade da solução final.

Em zonas urbanas as rotundas resultam habitualmente em soluções eficientes embora o seu nível de desempenho dependa consideravelmente das características e do tipo de utilizadores envolvidos. É o caso da forte presença de utilizadores vulneráveis (peões ou ciclistas), cuja defesa poderá justificar a tomada de medidas específicas ou mesmo o recurso a outras soluções, nomeadamente às semaforicas.

Também a tipologia das vias intersectadas afecta o nível de desempenho global da intersecção. Idealmente a rotunda adapta-se particularmente bem ao cruzamento entre vias da mesma tipologia, no entanto comprova-se genericamente a sua eficácia mesmo no tratamento de intersecções entre vias de tipologias diferenciadas. A Tabela 1 apresenta para as quatro classes de vias urbanas o nível de adequação associado à aplicação das duas grandes tipologias de rotundas (de nível e desniveladas).

Tabela 1 – Aplicabilidade das rotundas em função da classificação funcional das vias intersectadas em zona urbana (Adaptado de Seco,1995)

	Via Colectora	Distribuidora Principal	Distribuidora Local	Acesso Local
Via Colectora	a (Rd/Rn)	A (Rd)/a (Rn)	A(Rd)/A(Rn)	---
Distribuidora Principal		a (Rn)	a (Rn)	a (Rn)
Distribuidora Local			a (Rn)	a (Rn)
Acesso Local				a (Rn)

(A – Adequada na maioria dos casos; a – adequada em alguns casos; --- ligação a evitar)

(Rn - Rotunda normal; Rd - Rotunda Desnivelada)

A quebra imposta pela presença da rotunda à velocidade de circulação faz com que se adaptem particularmente bem ao cruzamento de vias onde prevalece a função acessibilidade embora, o nível de capacidade que lhe é característico faça com que se revele igualmente vantajosa na intersecção de vias onde prevalece a função mobilidade. Por outro lado, a adopção repetida e sistemática deste tipo de solução de nível num itinerário sujeito a importantes níveis de procura (nomeadamente em vias colectoras), pode constituir uma medida dissuasora à sua utilização, impondo demoras significativas aos fluxos principais, e dessa forma induzir ao desvio indesejável do tráfego para outros trajectos alternativos.

Por se tratar de uma solução do tipo “igualitário”, já que ao impor a perda do direito de passagem nas entradas dá importância semelhante a todas elas, é particularmente indicada para resolver conflitos entre vias com importância funcional e de fluxos de tráfego semelhantes (SETRA, 1984).

Exceptuam-se as intersecções entre vias colectoras ou entre vias de acesso local onde a rotunda, por razões funcionais ou económicas, pode não constituir a solução mais adequada. Nas intersecções entre duas vias colectoras deve procurar-se, preferencialmente, apostar em soluções desniveladas, como forma de privilegiar os movimentos principais. No entanto e perante níveis de procura de tráfego menos intensos ou sempre que a implantação de uma rotunda não ponha em causa a lógica de conjunto e de funcionamento da rede viária, deve ser equacionado o recurso a rotundas de nível ou, eventualmente desniveladas. Por sua vez, os fluxos de tráfego moderados habitualmente registados nas intersecções entre vias de acesso local não justificam o recurso a soluções que assegurem elevados níveis de desempenho potencial, sendo normalmente compatíveis com a implantação de simples cruzamentos prioritários, ou mesmo sem qualquer regulação. Exceptuam-se naturalmente situações onde existam objectivos específicos de acalmia de tráfego.

Tal como referido anteriormente, a adopção de rotundas em zonas interurbanas deve ser assumida como possível e desejável, embora face a ambientes rodoviários que convidem à prática de velocidades elevadas, se deva dar particular atenção ao estudo do traçado de aproximação.

O normal funcionamento das rotundas de nível, traduz-se numa diminuição significativa das velocidades e, por consequência, em aumentos consideráveis das demoras, pelo que não constituem a solução mais adequada ao tratamento de cruzamentos entre itinerários principais (IP) ou complementares (IC). A implantação de soluções de nível deve ser preferencialmente condicionada às “Estradas Nacionais e Regionais” (EN/ER) e às “Estradas Municipais” (EM) e aos troços onde as características das vias imponham uma natural moderação da velocidade de circulação. A sua aplicação é igualmente admissível

em troços de estradas interurbanas, sujeitas a velocidades médias superiores a 50km/h devendo, no entanto, ser obrigatoriamente promovido o restabelecimento do traçado de aproximação e estudos de integração paisagística que favoreçam a visibilidade atempada da intersecção e, dessa forma, induzam os condutores a uma alteração natural do seu comportamento.

É, no entanto, aceitável e, em muitos casos mesmo desejável (tendo em vista a sua simplicidade, facilidade de compreensão e uso, bem como o seu custo e espaço de implantação mais moderados do que o de outras alternativas desniveladas), o recurso a rotundas desniveladas associadas também às restantes classes de estradas nacionais (os IP e IC). Nestas situações deve ser concedido um cuidado especial ao dimensionamento dos acessos de ligação.

A Tabela 2 especifica a aplicabilidade da solução rotunda em intersecções entre vias da rede nacional e municipal, integradas em ambiente inter-urbano. Á semelhança do descrito para ambientes urbanos, o desempenho das rotundas dependerá das características das vias intersectadas, resultando, no caso das soluções de nível, em soluções habitualmente mais eficazes, sempre que as vias apresentem características similares.

Tabela 2 - Aplicabilidade das rotundas em função da classificação das vias intersectadas em zona inter-urbana

	IP	IC	EN/ER	EM
IP	N	a(Rd)	A(Rd)	A(Rd)*
IC		a(Rd)	A(Rd)	A(Rd)*
EN/ER			A(Rd) /A (Rn)	a(Rd); A(Rn)

(N - Normalmente não adequado; a- Adequado em alguns casos; A - Adequado na maioria dos casos) (**Rn** - Rotunda de nível; **Rd** - Rotunda Desnivelada; * - segundo JAE P5/90 é uma ligação a evitar)

A adequação da rotunda a uma situação particular depende significativamente das características locais, considerando-se *normalmente não adequada* (N) a sua aplicação entre vias da rede fundamental, na medida em que, idealmente, deve ser avaliada a aplicação de soluções desniveladas nas suas diferentes formas (quatro níveis, composto, trevo, etc.).

Face a condicionantes de espaço, poderá ser avaliada a adopção de uma rotunda duplamente desnivelada, onde apenas os movimentos de mudança de direcção são canalizados para o anel de circulação. Em intersecções entre ICs ou mesmo entre um IP e um IC, a implantação da rotunda desnivelada, deve ser equacionada, particularmente perante um nó terminal, ou sempre que a importância de um dos ICs seja considerada compatível com uma perda do direito de passagem.

Nas intersecções entre IPs ou ICs com estradas Nacionais, Regionais ou mesmo Municipais, a adopção de rotundas desniveladas pode resultar em excelentes soluções quer do ponto de vista da funcionalidade e segurança quer em termos económicos, considerando-se a sua aplicação *adequada na maioria dos casos* (A).

2.3.3 CONDIÇÕES DE CIRCULAÇÃO

Genericamente as rotundas podem apresentar níveis de capacidade semelhantes aos assegurados pelos cruzamentos semaforizados, pelo que estes dois tipos de intersecção constituem habitualmente modos de regulação alternativos (Austroads, 1993; DfT, 1993).

As rotundas são, no entanto, soluções menos flexíveis que as semaforizadas, já que apresentam um modo de funcionamento “passivo” no tempo. Por oposição, as soluções semaforizadas constituem um tipo de solução bastante

flexível e “activa” permitindo atribuir qualquer correlação de prioridades relativas entre os diferentes movimentos presentes no cruzamento e alterar essa correlação em tempo real de modo a que, em cada momento, tenda a ser a mais adequada às condições da procura e da lógica de funcionamento pretendida para a rede.

Os cruzamentos onde os movimentos de inversão de marcha e de viragem à esquerda apresentam importâncias consideráveis, são os que mais beneficiam das vantagens das rotundas, sendo mesmo estas as únicas soluções de nível que acomodam com facilidade as inversões de marcha. Constitui ainda uma solução que atribui ao condutor a hipótese de errar perante indecisões relativas ao destino a tomar, constituindo boas soluções a adoptar em zonas onde existe uma grande componente de tráfego não habitual ou sazonal.

Algumas referências bibliográficas defendem que a avaliação da adequação da rotunda deve usar, como um dos critérios base, os níveis de procura envolvidos. O HMSO (1987) apresenta áreas de adequação para cada solução de regulação em função do tráfego médio diário associado às duas vias intersectadas (ver Figura 2).

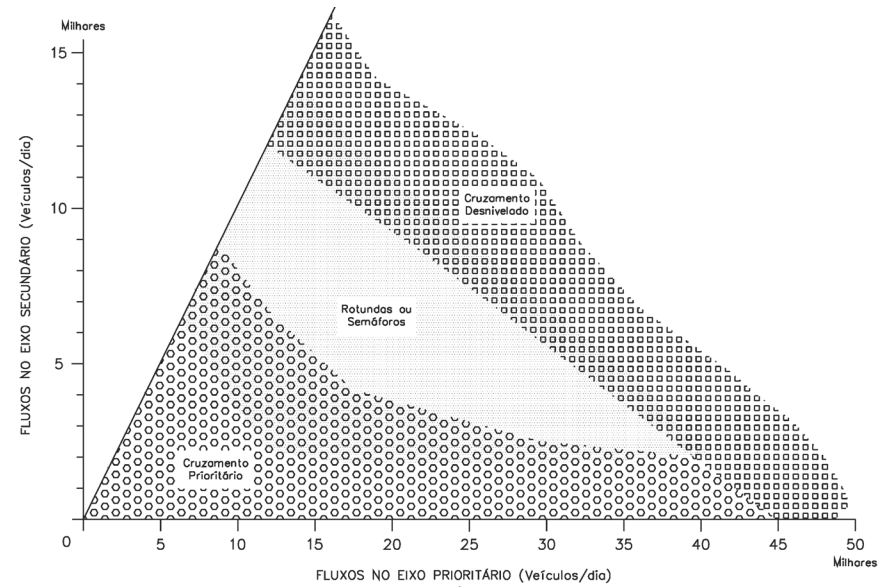


Figura 2 - Domínio de aplicabilidade dos diferentes tipos de cruzamentos (HMSO, 1987)

A Figura 2 evidencia que a rotunda, em paralelo com as soluções semaforizadas, assegura níveis de capacidade intermédios, acima dos assegurados pelos cruzamentos prioritários e abaixo dos associados aos nós desnivelados. Da mesma figura se pode ainda depreender que a garantia de um bom funcionamento global da intersecção passa por assegurar que os fluxos sejam sensivelmente da mesma ordem de grandeza nas diferentes entradas afluentes. As normas francesas consideram a necessidade de equacionar outro tipo de solução sempre que a relação entre os fluxos na via prioritária/secundária seja superior a 10 (SETRA, 1984). Refira-se que desproporções de fluxos com esse significado revelam a existência de uma clara hierarquização funcional das vias intersectadas, face às quais, a adequação da rotunda deverá, como atrás foi referido, ser reequacionada.

A sua flexibilidade funcional permite que, mesmo no limiar de saturação, a rotunda mantenha um bom nível de desempenho e absorva eventuais alterações à repartição direccional, ao mesmo tempo que impõe demoras aceitáveis quando os fluxos são particularmente reduzidos.

A existência de uma forte componente de tráfego pedonal ou de ciclistas e, em particular, de utilizadores vulneráveis, não é, à partida um factor condicionante à aplicação das rotundas. Em função das características locais poderá, no entanto, justificar-se a avaliação de outras soluções alternativas ou a tomada de medidas complementares que apoiem este tipo de utilizadores.

2.3.4 NÚMERO E CARACTERÍSTICAS DAS VIAS INTERSECTADAS

As rotundas resultam em excelentes soluções particularmente na resolução de pontos conflitos entre 3 ou 4 ramos afluentes. A sua flexibilidade geométrica, traduz-se em ordenamentos simples, mesmo face a mais de 4 ramos afluentes, embora essa situação obrigue à adopção de soluções com alguma dimensão. A sua legibilidade e segurança são garantidas mesmo em situações onde a adopção de outro tipo de solução de nível resultaria em ordenamentos complexos de deficiente legibilidade e em consideráveis ocupações de espaço, nomeadamente na tentativa de dotar o cruzamento de canalização associada aos diferentes movimentos direccionais. Alguns autores defendem que as soluções com 3 ou 4 ramos são favoráveis à segurança, devendo evitar-se a adopção de rotundas que obriguem à articulação de mais de 6 ramos afluentes (SETRA, 1998).

Também a acomodação de vias com sentido único de circulação não representa uma dificuldade acrescida para o ordenamento geométrico. A inserção de um ramo adicional ou a alteração de sentidos de trânsito são viabilizados por recurso a alterações físicas localizadas geralmente pouco significativas.

A sua integração em vias com perfis transversais 2x2, é igualmente possível e muito utilizada em alguns países, como é o caso de França e Portugal. Contudo, a sua implantação deve ser encarada com precaução sempre que, em meio inter-urbano, as condições de circulação propiciem a prática de velocidades elevadas de aproximação. A mesma preocupação leva a que, por razões de segurança, a implantação de rotundas no cruzamento de vias com perfis transversais de 2x3 não seja recomendável.

2.3.5 SEGURANÇA E CONTROLO DO COMPORTAMENTO

O funcionamento imposto pela presença da rotunda revela-se extremamente simples e facilmente percebido pelos condutores, pelo que mesmo perante um número elevado de ramos afluentes, a solução é caracterizada por apresentar excelentes níveis de segurança. É, como tal, recomendada a sua aplicação em locais caracterizados pela ocorrência de acidentes, seja relacionados com a prática de comportamentos inadequados por parte dos condutores, seja pelo envolvimento de utilizadores vulneráveis, seja ainda pela perigosidade associada a determinados movimentos direccionais. Quando utilizadas de uma forma integrada, as rotundas poderão funcionar como excelentes medidas de acalmia de tráfego, promovendo a amenidade de circulação e o aumento da segurança quer das correntes motorizadas quer dos restantes utilizadores da via pública.

São igualmente recomendadas para o reordenamento de cruzamentos prioritários, com o objectivo de aumentar a segurança, ou a capacidade dos movimentos de atravessamento e/ou da viragem à esquerda, nomeadamente sempre que lhe esteja associado um número elevado de conflitos ou acidentes, ou sempre que os tempos de espera assumam valores significativos e possam incentivar os condutores a arriscar e a aceitar intervalos críticos menos adequados.

2.3.6 CONDIÇÕES TOPOGRÁFICAS E LOCALIZAÇÃO

A experiência internacional no domínio da segurança mostra que os acidentes em rotundas são maioritariamente resultantes da perda de controlo do veículo junto à entrada, em resultado da velocidade excessiva adoptada durante a aproximação. O reconhecimento da presença da rotunda e a consequente redução de velocidade dependem, em grande medida, da percepção global e atempada da intersecção. Daí que a localização adequada da rotunda assuma um papel preponderante na visibilidade e legibilidade da intersecção e, por consequência, nos níveis de segurança oferecidos pela infraestrutura.

Os locais mais adequados para a sua implantação são aqueles que asseguram bons níveis de visibilidade desde a sua longínqua aproximação. Neste contexto, zonas planas ou em depressão não muito acentuada poderão revelar-se as ideais, enquanto que a sua inserção em curvas verticais convexas, ou curvas em planta poderão resultar em zonas de percepção deficiente.

Em qualquer caso deve desincentivar-se a implantação de rotundas em zonas longitudinalmente inclinadas sendo que, sempre que essa hipótese se tornar inevitável, devem garantir-se os indispensáveis níveis de visibilidade e condições de paragem em segurança. Nestas circunstâncias deve ser dado um particular cuidado ao dimensionamento das concordâncias verticais associadas a rampas acentuadas.

2.3.7 AMBIENTE E URBANISMO

Uma rotunda pode constituir um instrumento de requalificação urbana, ao associar tratamentos paisagísticos à ilha central enquanto focos de convergência física e visual de avenidas e arruamentos. Constituem ainda frequentemente pela sua singularidade, identidade e notoriedade pontos de referência geográfica local. Os arranjos paisagísticos da sua ilha central podem ainda atribuir-lhe claros benefícios paisagísticos os quais, quando devidamente concebidos, podem contribuir para a notoriedade e visibilidade da solução e, com isso, resultar em benefícios para a segurança. Parece ser incontestável que a sua fácil integração paisagística constitui um dos principais factores que está na base da sua crescente popularidade, nomeadamente em zonas urbanas e peri-urbanas.

A implantação de rotundas, está ainda maioritariamente associada a outros benefícios ambientais, através da diminuição dos índices de poluição ambiental e sonora derivados, nomeadamente do controlo das travagens e dos arranques, relativamente às habitualmente associadas a outras soluções tradicionais de nível (Bovy et. al, 1991).

2.3.8 PRINCIPAIS DESVANTAGENS DA SOLUÇÃO ROTUNDA

Apesar da sua flexibilidade e vasto domínio de aplicação, as rotundas não podem ser encaradas como solução de uso indiscriminado. Com efeito, a sua adaptação às condições de circulação pode exigir uma considerável ocupação de espaço ou pelo menos formas geométricas nem sempre fácil de disponibilizar em espaços urbanos consolidados.

A rotunda também não estabelece hierarquias viárias entre as vias intersectadas nem entre utilizadores, pelo que não permite facilmente favorecer um determinado movimento direccional ou modo de transporte, tais como os transportes públicos ou veículos prioritários. A sua utilização como estratégia dissuasora a um determinado itinerário pode não constituir a medida mais eficaz, particularmente quando comparada com os sistemas semafóricos que permitem ajustar tempos de espera e atrasos às condições reais de circulação.

Quando inseridas em eixos coordenados por sistemas activos de regulação, constituem um ponto de rotura no sistema impossível de controlar, podendo pôr em causa a estratégia de coordenação de todo o sistema. Da mesma forma,

os sistemas urbanos de gestão integrada exigem um controlo activo dos fluxos de entrada, através da aproximação em tempo real dos espectros da oferta aos da procura, pelo que a inclusão no sistema de uma rotunda com funcionamento passivo, poderá comprometer toda a estratégia de regulação.

Constituem ainda soluções a evitar face a cruzamentos ou dispositivos de regulação (travessias pedonais, semáforos redutores de velocidade, etc.) situados a montante que possam bloquear ou diminuir drasticamente a capacidade de uma ou mais saídas. Nestas situações a eventual formação de filas de espera pode pôr em causa o funcionamento global da intersecção.

A sua implantação em trainéis de inclinação acentuada pode também comprometer o funcionamento e segurança da intersecção, estando habitualmente associada a um número elevado de acidentes por despiste e a derrubes de carga no anel, assim como a uma maior incidência de recusa do direito de passagem junto à entrada. A sua eventual aplicação, nestas circunstâncias, deverá exigir, necessariamente, o restabelecimento dos ramos afluentes, de modo a garantir que a rotunda possa ser implantada em locais sensivelmente planos.

Também a sua implantação em locais que não favoreçam a normal visibilidade da intersecção deve ser evitada, já que a este tipo de situações se associa normalmente um aumento significativo dos acidentes junto à entrada.

Finalmente, importa reforçar que, apesar da rotunda permitir defender os utilizadores vulneráveis, as características dos utilizadores e, em particular, a lei de distribuição da chegada dos peões e/ou ciclistas pode comprometer significativamente o seu funcionamento global. Nessa óptica a procura de soluções alternativas de regulação ou a eventual semaforização das travessias poderá revelar-se necessária.

2.4 TIPOLOGIAS E APLICABILIDADE DAS ROTUNDAS

É possível encontrar na bibliografia da especialidade diferentes classificações atribuídas às rotundas, baseadas, maioritariamente, na sua dimensão, nas características físicas ou no ambiente rodoviário em que se inserem (FHWA, 2000; Bovv, 1992).

A classificação apresentada neste documento baseia-se na tipologia de soluções adoptada pelo manual inglês (DfT, 1993), ajustada em função da realidade nacional. As soluções são categorizadas em cinco classes, em função da sua dimensão geral e características geométricas de base.

2.4.1 ROTUNDA NORMAL E ROTUNDA SEMI-GALGÁVEL

A rotunda normal corresponde à maioria das rotundas inseridas nas redes rodoviárias nacionais e é caracterizada pela existência de uma ilha central com diâmetro igual ou superior a 4 metros e de diâmetros do círculo inscrito (DCI)¹ superiores a 28 metros (ver Figura 3). A dimensão atribuída ao anel de circulação é habitualmente definida de forma a acomodar as necessidades de operacionalidade de qualquer tipo de veículo, pelo que a ilha central é geralmente considerada intransponível em condições normais de circulação (DfT, 1993).

O seu campo de aplicação é extremamente vasto, abrangendo as potencialidades e limitações gerais enunciadas em 2.3. Refira-se no entanto que face a DCIs compreendidos entre 28 e 36/40 metros, a adopção de rotundas *semi-galgáveis* poderá, sem prejuízo da operacionalidade dos veículos pesados, contribuir para uma melhoria da deflexão imposta aos veículos ligeiros (Bastos Silva, et al., 1999). Nestas soluções, a ilha central é contornada por uma faixa revestida por material de cor contrastante com a faixa de rodagem e de textura preferencialmente irregular (tais como calhau rolado, ou cubos de granito).

1 Designa-se por diâmetro do círculo inscrito de uma entrada (DCI), o maior diâmetro que se consegue inscrever no interior da rotunda (incluindo bermas) e que passa tangencialmente à delimitação da entrada em estudo.



Figura 3 – Rotunda Normal (fonte www.trans.ci.portland.or.us; Akcelik - International Conference on Modern Roundabouts, September 1998, Loveland, Colorado, USA)

Essas características permitem a utilização dessa faixa por veículos pesados (ver Figura 4), tornando-a, por sua vez, suficientemente desconfortável e desincentivadora para sua utilização pelos veículos ligeiros (FHWA, 2000).
A sua aplicação revela-se particularmente eficaz na presença de fluxos de veículos pesados pouco significativos e sempre que, por razões de segurança, se torne essencial garantir a moderação e controlo das velocidades associadas aos veículos ligeiros (Bastos Silva, et al., 1999).

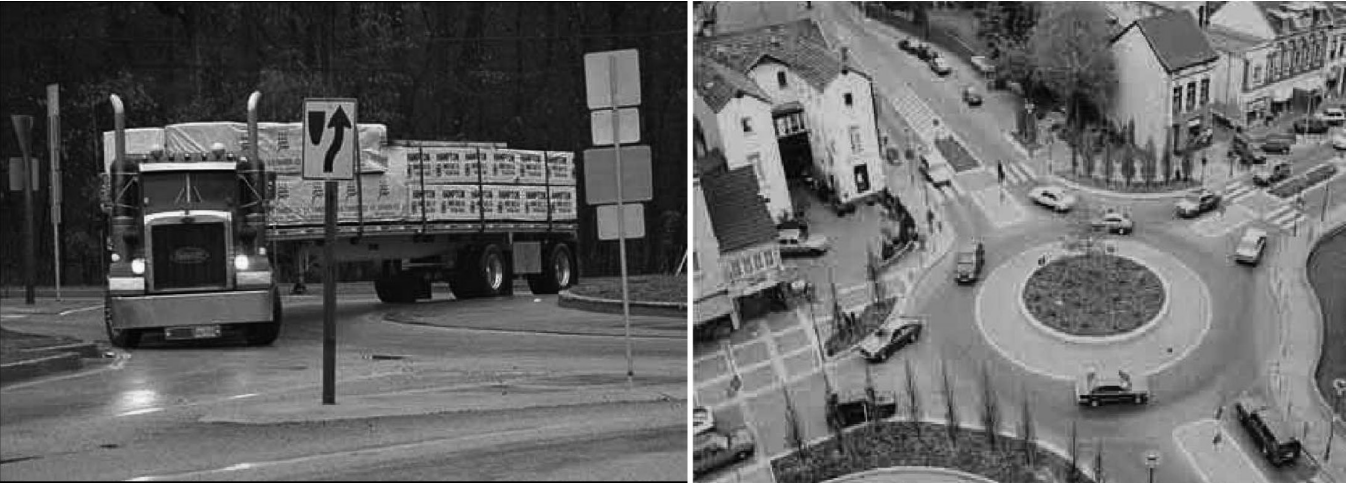


Figura 4 – Rotundas semi-galgáveis (fonte FHWA,2000: roundabouts.kittelson.com)

2.4.2 MINI-ROTUNDA

A mini-rotunda, ainda com uma aplicação moderada em Portugal, constitui um tipo de solução muito utilizada noutros países, nomeadamente em Inglaterra e na Austrália (Dft, 1993; AUSTROADS, 1993). Caracteriza-se pela existência de uma ilha central galgável com diâmetro inferior a 4 metros e por DCIs compreendidos entre 14 e 28 metros.
A ilha central pode ser materializada em relação ao anel de circulação ou simplesmente marcada no pavimento por recurso a sinalização horizontal (DfT, 1993).
A solução materializada é aplicável a DCIs superiores a 18 metros, sendo que a faixa do anel de circulação deverá ser suficientemente larga para acomodar as necessidades de manobra dos veículos ligeiros assumindo-se que os veículos pesados terão maioritariamente necessidade de galgar a ilha central, nomeadamente nos movimentos de viragem à esquerda. A materialização da ilha central é normalmente conseguida através da colocação de um disco em forma de cúpula, revestido por materiais que garantam um contraste visual em relação ao anel de circulação. Apesar de ser materializada, a mesma deve poder ser

galgável pelo que é inadmissível a implantação de qualquer tipo de dispositivo no seu interior, tais como sinais, postes de iluminação ou mobiliário urbano.

Por sua vez as soluções simplesmente pintadas são ainda mais compactas que as anteriores, apresentando DCIs compreendidos entre 14 e 18 metros. Face às suas reduzidas dimensões, será inevitável que até os veículos ligeiros tenham, em algumas manobras, de circular sobre a ilha central (nomeadamente para virarem à esquerda ou inverterem a marcha), sendo quase sempre transposta pelos veículos pesados. Caracterizam-se pela existência de uma ilha central plana, marcada por sinalização horizontal e ladeada por dispositivos reflectores. A marcação deverá ser conseguida através do recobrimento total da ilha central com tinta branca reflectora, embora alguns países, tais como Inglaterra ou Austrália, recorram igualmente à marcação de uma série de anéis concêntricos (ver Foto 2-3). Constitui uma solução visualmente pouco marcante, pelo que tende a apresentar maiores índices de sinistralidade que a solução materializada.

Independentemente do tipo de ilha central adoptada, as mini-rotundas constituem soluções compactas, tornando difícil e, por vezes, mesmo impossível garantir a necessária deflexão dos movimentos com recurso unicamente à ilha central. Dessa forma, a adopção de medidas complementares, tais como a implantação de ilhéus deflectores, o restabelecimento dos acessos ou mesmo a adopção de medidas de acalmia de tráfego, poderão tornar-se indispensáveis para a salvaguarda de velocidades compatíveis com as características da solução. A pré-sinalização informativa e de regulamentação terão igualmente um papel preponderante no domínio da segurança rodoviária.

Apesar das suas dimensões reduzidas, estudos desenvolvidos em Inglaterra (Kimber, 1980) comprovam que as mini-rotundas, desde que devidamente concebidas e adequadamente localizadas, são geralmente seguras e asseguram níveis de capacidade significativos, aproximando-se dos assegurados pelas rotundas normais compactas.

Dada a sua pouca notoriedade (ver Figura 5), a sua implantação deve limitar-se normalmente a cruzamentos sujeitos a fluxos de tráfego reduzido e a volumes de viragens à esquerda e de inversão de marcha moderados. A sua aplicação deve ainda limitar-se a vias onde a velocidade de aproximação seja reduzida nunca excedendo os 50km/h (MOPU, 1989).

Pelas dificuldades de contorno impostas aos veículos de maiores dimensões, a sua implantação deve ainda ser restringida a locais onde a presença de veículos pesados é excepcionalmente reduzida (Aragão, 1992), nomeadamente em zonas residenciais, onde a mini-rotunda possa funcionar como um instrumento de moderação da velocidade (Vanderputte, 1992). Segundo o manual inglês (DfT, 1993; DfT, 1984), trata-se de soluções particularmente adaptadas à remodelação/beneficiação de cruzamentos existentes, sendo de evitar a sua adopção em novas projectos a construir.



Figura 5 - Mini-rotundas (fonte FHWA, 2000 e Public Roads, Autumn 1995, Vol 59, Nº2)

2.4.3 ROTUNDAS DESNIVELADAS

As rotundas desniveladas consistem num nó ao qual está associado uma ou mais rotundas para as quais são canalizados os movimentos da via secundária e de mudança de direcção. As formas geométricas mais comuns caracterizam-se pela existência de um atravessamento desnivelado associado a uma rotunda de grandes dimensões (Figura 6 a)) ou a duas rotundas compactas interligadas por um viaduto central (Foto 6 b)).

A de grandes dimensões caracteriza-se pela existência de uma rotunda central que interliga os acessos da via prioritária à via secundária intersectada (Figura 6 a)). A solução exige a construção de dois viadutos, resultando numa significativa ocupação de espaço e, por consequência, numa solução economicamente onerosa. Constituem soluções onde tendencialmente os níveis de sinistralidade são algo superiores aos registados noutros tipos de rotundas, como resultado directo da prática de maiores velocidades de circulação (DEPARTMENT OF TRANSPORT, 1993). A sua concepção geométrica deve, assim, orientar-se no sentido de procurar elaborar soluções o mais compactas possíveis.



Figura 6 - Rotundas desniveladas- (a) interligadas por um viaduto /(b) rotunda de grandes dimensões (fonte FHWA, 2000)

A rotunda dupla interligada por um viaduto central apoia-se em duas rotundas de dimensão compacta localizadas lateralmente em relação à faixa de rodagem da via considerada prioritária (Figura 6 b)). Para essas rotundas são direccionados os movimentos de mudança de direcção, a partir da via prioritária, e o tráfego proveniente das vias secundárias. Apesar de contemplar a construção de duas rotundas compactas, esta solução caracteriza-se pela existência de uma única obra de arte, pelo que poderá resultar numa solução mais vantajosa do que a anterior quer do ponto de vista económico quer da ocupação do solo.

O desempenho deste tipo de solução depende consideravelmente do funcionamento global da intersecção, pelo que deverão ser dirigidos cuidados especiais à análise da capacidade das rotundas e dos correspondentes ramos de acesso, procurando evitar que a formação de eventuais filas de espera nas entradas da rotunda ponha em causa o funcionamento da via prioritária.

Independentemente do tipo de nó adoptado, a sua implantação resulta particularmente bem na intersecção de vias, onde, pela sua importância se pretenda beneficiar um determinado eixo viário, tais como auto-estradas ou vias colectoras. Segundo BARED e KAISAR (2002) a rotunda dupla interligada por um viaduto central, representa uma excelente alternativa aos nós em diamante sempre que haja limitações de espaço ou se pretenda diminuir os tempos de espera associados aos movimentos não prioritários. Podem ainda constituir soluções economicamente rentáveis no ordenamento de cruzamentos, sempre que uma das vias intersectadas surja em escavação ou em aterro acentuado.

2.4.4 OUTRAS SOLUÇÕES GIRATÓRIAS

2.4.4.1 Rotunda Dupla e com disposição em anel

Outros tipos de rotundas menos vulgares, tais como a rotunda dupla (Figura 7 a) ou com disposição em anel (ver por exemplo Figura 8) são caracterizadas por alguma complexidade e perda de legibilidade face as restantes soluções apresentadas anteriormente, pelo que apresentam um domínio de aplicabilidade mais restrito.

A rotunda dupla (Figura 7 a) caracteriza-se pela construção de duas rotundas compactas contíguas ou interligadas por um separador central de dimensões reduzidas. Adaptam-se particularmente bem a locais onde a utilização de uma rotunda normal resultaria numa solução de grandes dimensões ou em praças extremamente alongadas (ver Figura 7 b), na resolução de conflitos entre vias sensivelmente paralelas ou de cruzamentos desfasados (MOPU, 1989). Servem ainda para minimizar o efeito penalizador das viragens à esquerda e das inversões de marcha na capacidade das diferentes entradas.



Figura 7 - (a) Rotunda dupla / (b) rotunda alongada (<http://www.ksu.edu/roundabouts/>; / www.trans.ci.portland.or.us)

As rotundas dispostas em anel (Figura 8), pela sua invulgaridade e por permitirem a circulação nos dois sentidos do anel, associam-se a dificuldades acrescidas de interpretação por parte dos condutores, particularmente os menos habituais.

A sua aplicação deve ser condicionada particularmente em países menos familiarizados com o seu funcionamento, como é ainda o caso de Portugal. Devem ainda limitar-se preferencialmente ao tratamento de zonas que permitam assegurar consideráveis distâncias entre os diferentes ramos afluentes e, por sua vez, a grandes raios da ilha central (Bastos Silva et al., 1999).

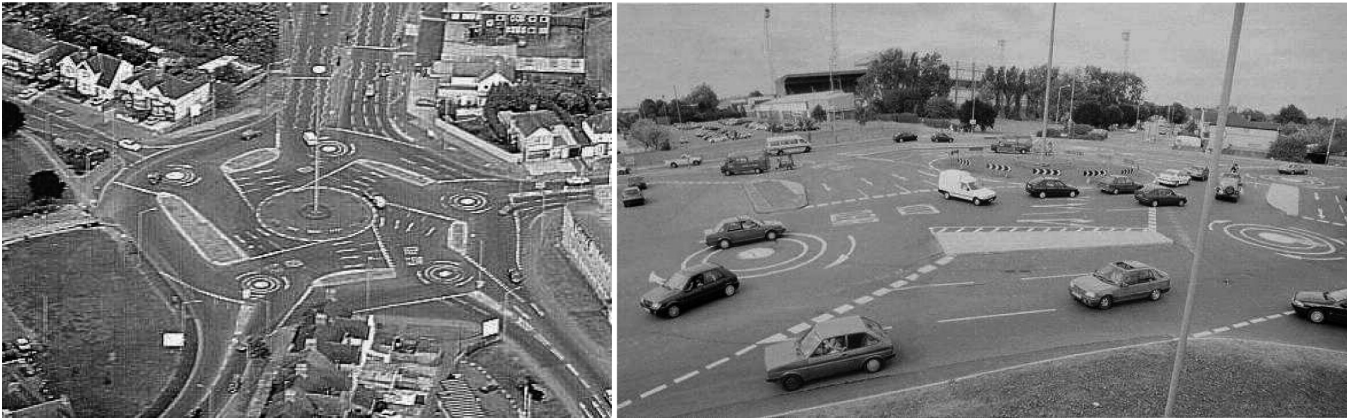


Figura 8 - Rotundas com disposição em forma de anel (fonte: roundabouts.kittelson.com)

2.4.4.2 Rotundas Semaforizadas

Por definição, um cruzamento regulado por um sistema semaforizado, mesmo que a sua forma geométrica se assemelhe a uma rotunda, não deve ser considerado como tal, já que os princípios de dimensionamento que suportam a sua concepção são claramente distintos.

No entanto, a semaforização pode incidir sobre todos ou apenas alguns dos ramos afluentes, com funcionamento permanente ou activado em apenas alguns períodos do dia (DfT, 1993; ITE, 1992). Nos casos em que o cruzamento não funciona sempre sob o controlo dos sinais luminosos importa promover a adopção de uma geometria que permita compatibilizar os dois modos de funcionamento.

Este tipo de solução tem-se revelado particularmente útil na resolução de problemas de capacidade em rotundas que apresentem problemas de funcionamento em alguns dos seus ramos de entrada (desequilíbrio de fluxos) ou sempre que, na presença de fortes oscilações horárias da procura, se justifique a sua activação em determinados períodos do dia. A semaforização pode ainda justificar-se por questões de segurança rodoviária, nomeadamente pela necessidade de controlar as velocidades de circulação ou garantir a segurança de alguns dos utilizadores mais vulneráveis da via pública.

2.4.4.3 Rotundas Furadas

As rotundas vulgarmente designadas de furadas consistem em soluções cuja ilha central é atravessada por uma via considerada prioritária, subdividindo-a em dois semicírculos laterais (Figura 9). Esses semicírculos destinam-se a canalizar e direccionar os movimentos com origem nas vias secundárias e os movimentos prioritários de mudança de direcção (Bovy et al, 1991). Apesar de terem sido muito utilizadas em alguns países, nomeadamente em Espanha, constituem soluções difíceis de compreender pelo condutor não habitual e às quais estão associados elevados níveis de sinistralidade (SETRA, 1984). Apesar desta solução não associar demoras aos movimentos principais, pode resultar numa considerável redução dos níveis de serviço e de segurança associados aos movimentos secundários que exijam o atravessamento da corrente principal. A criação de conflitos a 90º associa ainda este tipo de cruzamento a acidentes de gravidade elevada, tendo por isso vindo a ser, ao longo do tempo, transformados maioritariamente em rotundas normais ou em cruzamentos semaforizados.

As regras de regulação das prioridades que lhe estão associadas definem um modo de funcionamento que se afasta significativamente do princípio subjacente ao funcionamento das rotundas, pelo que este tipo de solução não é habitualmente integrado no conjunto das tipologias de intersecções giratórias.

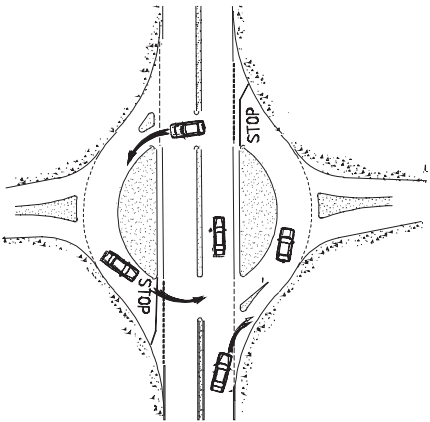


Figura 9 - Rotunda furada

3. PRINCÍPIOS BASE DE CONCEPÇÃO GEOMÉTRICA DE ROTUNDAS

3.1 INTRODUÇÃO

A definição de uma metodologia de dimensionamento de rotundas assenta em primeira instância na caracterização das diferentes vertentes da aplicação das rotundas e, em particular, na definição dos critérios de dimensionamento a privilegiar na sua definição geométrica. As características específicas de cada local obrigam à definição prévia do critério de dimensionamento a valorizar e fazem com que cada solução constitua um ordenamento único e especificamente concebido para responder às necessidades locais.

Ao longo das últimas décadas, têm sido vários os países que têm promovido a definição de regras de concepção de rotundas, verificando-se que os princípios subjacentes ao seu desenvolvimento passam, pela garantia de bons níveis de serviço ou, pela procura de condições de funcionamento que assegurem a segurança ou ainda que compatibilizem a utilização do espaço pelos diferentes utilizadores da rede viária. Os resultados da aplicação destas diferentes filosofias de abordagem são, por vezes, controversos, pelo que se justifica a sua análise crítica comparativa.

À semelhança da maioria dos manuais estrangeiros de apoio à concepção geométrica, a metodologia aqui adoptada centra-se na avaliação das características desejáveis para cada um dos principais parâmetros geométricos que compõem as rotundas, propondo-se gamas de variação para cada um deles, associadas a um conjunto de regras dirigidas à sua devida compatibilização.

3.2 PRINCÍPIOS GERAIS DE DIMENSIONAMENTO

Neste ponto é apresentado um conjunto de princípios básicos de projecto a ter em atenção na definição da solução geométrica de uma rotunda e que se traduz em diferentes critérios e regras de dimensionamento. Trata-se dos princípios de legibilidade, de segurança e amenidade de circulação e, de fluidez e capacidade.

Os princípios de legibilidade são traduzidos no “respeito pelas expectativas naturais dos condutores”, pela simplicidade de compreensão e utilização da intersecção.

Os níveis mínimos de segurança devem ser igualmente assegurados o que, na maioria das situações, passa por salvaguardar os princípios básicos de legibilidade.

No entanto, as soluções voltadas para a *segurança e amenidade de circulação* apostam na concepção de geometrias capazes de impor claras reduções de velocidade durante a fase de negociação e de atravessamento da rotunda, através do condicionamento físico do comportamento do condutor.

O desempenho geral de uma solução depende do seu modo de funcionamento global, devendo ter subjacente princípios de capacidade que a adaptem devidamente aos níveis de procura local, resultando assim em soluções fluidas e capazes de canalizar, sem demoras excessivas, os diferentes movimentos direccionais. Efectivamente, a capacidade e as demoras são alguns dos indicadores a considerar na avaliação da qualidade de funcionamento da solução, já que são facilmente percebidos pelo utilizador na sua avaliação da qualidade de serviço prestado pela intersecção.

Finalmente, importa referir que a solução geométrica deve ser ainda suficientemente flexível para permitir eventuais faseamentos da sua implementação ou para que, com um custo moderado, se possa proceder a adaptações futuras no seu funcionamento para dar resposta, designadamente a alterações significativas das características ou dos níveis da procura.

3.2.1 PRINCÍPIO DA LEGIBILIDADE

Um ordenamento geométrico é considerado legível sempre que todo o condutor, mesmo que não habitual, compreende muito rapidamente o seu funcionamento e adopta naturalmente um comportamento adequado e isento de qualquer embaraço ou hesitação. A legibilidade deve ser assegurada quer em termos de percepção ao nível da *aproximação* quer no *interior* da rotunda (CETUR, 1988).

A “*percepção na aproximação*” relaciona-se com o ambiente envolvente e com a eventual existência de obstáculos adjacentes à faixa de rodagem. O cumprimento deste princípio, passa por assegurar que qualquer condutor durante a aproximação se apercebe da existência da rotunda e adapta o seu

comportamento às condições prevalecentes, reduzindo a velocidade de circulação para valores compatíveis com a solução local.

Por sua vez a “*legibilidade interna*” deve assegurar que qualquer condutor na presença da rotunda compreende rapidamente o seu ordenamento e o seu modo de funcionamento. Este princípio resulta, de forma geral, na necessidade de adoptar geometrias simples, o mais padronizadas possível e concordantes com as naturais expectativas dos condutores.

O respeito pelas expectativas naturais dos condutores é fundamental para evitar que situações de incompreensão das regras de funcionamento dos cruzamentos resulte em frequentes situações de involuntário desrespeito por essas mesmas regras. É fundamental que o que se espera dos condutores seja aquilo que eles julgam que se espera deles. A simplicidade de compreensão e utilização procura minimizar o risco de erro por parte dos condutores durante a tarefa de atravessamento da rotunda. Tal permitirá um reconhecimento rápido e automático, por parte do condutor, do tipo de solução e do modo como este se deverá comportar, já que qualquer hesitação ou atitude imprevista por parte do condutor poderá resultar em desacelerações inesperadas com eventual risco de bloqueio geral da intersecção ou mesmo de acidentes do tipo frente-traseira.

3.2.2 PRINCÍPIO DA AMENIDADE DE CIRCULAÇÃO E SEGURANÇA

O princípio da *segurança e amenidade de circulação* apoia a concepção de geometrias capazes de induzir claras reduções de velocidade durante a fase de negociação e de atravessamento da rotunda, impondo condicionalismos físicos ao comportamento do condutor.

O princípio da segurança apresenta-se como obrigatório a qualquer concepção geométrica, embora se definam situações onde este princípio se apresente como uma simples condicionante básica à definição da solução, enquanto que noutros pode transparecer como condicionante dominante da solução (é o caso das soluções dirigidas predominantemente para a acalmia de tráfego).

Os níveis de segurança associados a uma determinada concepção geométrica, dependem em primeira instância dos elementos do traçado e das condições de visibilidade na aproximação, nomeadamente pela facilidade com que o condutor consegue visualizar a intersecção e os restantes utilizadores da via pública (SETRA, 1984). A conveniente localização da ilha central e dos ilhéus separadores nos diferentes acessos, ou mesmo a utilização de sucessivas curvas e contra curvas durante a aproximação que imponham adequadas deflexões aos movimentos de entrada, podem revelar-se determinantes à eficiência da solução.

Em termos geométricos, este princípio assenta na procura de soluções compactas, com DCIs de 30 (FHWA, 2000) a 40 metros (NIKOLAUS, 1992), e restritivas ao comportamento do condutor. Aposta no traçado adequado das entradas através da adopção de raios apertados e das larguras mínimas nas vias de circulação, eliminando as sobrelarguras desnecessárias ao nível das entradas e anel de circulação.

A sua integração em ordenamentos específicos, como medidas de acalmia de tráfego, são outro tipo de exemplos de aplicação, onde prevalece este princípio de dimensionamento e onde a rotunda constitui uma medida física capaz de contribuir significativamente para a natural redução e homogeneização dos perfis de velocidade contribuindo naturalmente para a criação de condições favoráveis à utilização conjunta do mesmo espaço pelos diferentes utilizadores da via pública.

3.2.3 PRINCÍPIO DA GARANTIA DO NÍVEL DE SERVIÇO ADEQUADO

O desempenho geral de uma solução depende do nível de serviço que oferece ao utilizador da via pública, traduzido pelos níveis de capacidade assegurados face à procura e pelas demoras impostas aos diferentes movimentos. Uma solução geométrica concebida unicamente sob este princípio, assenta em soluções pouco restritivas ao comportamento do condutor e, em particular, às velocidades praticadas. Resulta em trajectos facilitados e rápidos (grandes raios e pequenos ângulos de entrada) e na disponibilização de sobrelarguras ao nível das vias. Um conceito de base passa pela obrigatoriedade de apostar em soluções com múltiplas vias de entrada e de circulação no anel, proporcionando que o mesmo intervalo de tempo aproveitável entre veículos do anel de circulação, possa ser utilizado por vários veículos em simultâneo dos movimentos de entrada (DfT, 1993). Estas soluções com múltiplas vias resultam naturalmente na criação de soluções de dimensões menos compactas que as resultantes da aplicação do princípio da *segurança*.

3.2.4 A SOLUÇÃO INTEGRADA

O respeito pelo princípio da *legibilidade* deve ser encarado como obrigatório em qualquer concepção geométrica. Qualquer que seja a solução resultante, ela deve ser perceptível a partir da aproximação e facilmente reconhecida e percebida por qualquer condutor, mesmo que não habitual.

É ainda consensualmente recomendável que a concepção geométrica seja concordante com o princípio de *dificultar as entradas e facilitar as saídas*, ao impor características físicas à solução que resultem na penalização das velocidades de circulação na aproximação e entrada e que, por sua vez, garantam uma fácil e rápida saída dos veículos depois de atingido o anel de circulação (SETRA, 1984). Este princípio é, em primeira análise, a estratégia para respeitar quer os princípios de segurança quer os de garantia do nível de serviço.

No entanto a compatibilização destes dois princípios (*segurança*" e "*nível de serviço*"), nomeadamente quando levados ao extremo, é difícil de assegurar, resultando frequentemente em tendências antagónicas de dimensionamento. A valorização diferenciada destes dois princípios depende de diversos factores e, em particular, dos objectivos pré-estabelecidos, muitas das vezes em função do local de inserção.

Em zonas interurbanas, pela habitual facilidade de disponibilização de espaço e face a picos horários pouco marcantes, é normalmente adequado valorizar o princípio da garantia dos níveis do conforto de condução e *segurança rodoviária*, sem se tornarem relevantes as questões de capacidade. Nestas zonas e desde que salvaguardadas as condições desejáveis de fluidez, a adopção de geometrias bem delineadas que induzam a maioria os condutores a alterarem o seu comportamento e a reduzirem a velocidade, tende a revelar-se a mais adequada.

Mas a sua aplicação expande-se igualmente às zonas urbanas onde se registem problemas de segurança relacionados nomeadamente com a prática de velocidades inadequadas ao ambiente envolvente. A integração de rotundas ou mini-rotundas em ordenamentos específicos dirigidos à acalmia do tráfego poderá resultar em soluções eficientes do ponto de vista da circulação e segurança rodoviária, contribuindo significativamente para a amenidade de circulação e promoção da compatibilização da utilização do mesmo espaço pelos diferentes modos de transporte e utilizadores da via pública. Este tipo de medidas tem-se revelado extremamente útil em reordenamentos de zonas onde esta compatibilização é desejável, nomeadamente em zonas residenciais, centrais ou em atravessamentos de povoações.

Por sua vez, o princípio de *garantia de determinado nível de serviço* tende a prevalecer em zonas urbanas sujeitas a elevados níveis de procura de tráfego, ou em locais onde o ambiente envolvente, já por si, convide o condutor a

moderar a velocidade de circulação. Os cruzamentos entre distribuidoras principais ou associados a nós integrados na rede colectora representam os domínios de aplicação onde este princípio deverá necessariamente prevalecer. Apesar destas soluções procurarem assegurar boas condições de fluidez e capacidade, a sua concepção geométrica deverá ser igualmente direccionada de forma a garantir padrões mínimos de segurança, nomeadamente os traduzidas pelos critérios da canalização e de deflexão dos movimentos, apresentados nos pontos 4.9 e 4.10.

3.3 METODOLOGIA DE DIMENSIONAMENTO

O desenvolvimento de uma concepção geométrica deve constituir um processo iterativo que acomode simultaneamente as considerações geométricas que conduzem a soluções legíveis e funcionais e que, garantem os níveis de capacidade determinantes ao desempenho geral da infraestrutura.

O dimensionamento de uma rotunda passa, de forma geral, pelas seguintes etapas:

1. Identificação das Condições de Projecto, nomeadamente ao níveis seguintes:
 - *Seleção do tipo de veículo de projecto e Adopção do raio mínimo de viragem;*
 - *Avaliação dos níveis da procura;*
 - *Avaliação do número de vias de entrada necessárias em cada ramo afluente bem como a eventual necessidade de formação de leque* (o que poderá ser definido pela aplicação de um modelo de previsão de capacidades);
 - *Identificação das necessidades dos utilizadores mais vulneráveis* (nomeadamente dos peões e ciclistas);
2. Identificação do Local, registando eventuais cruzamentos localizados nas imediações e sua forma de regulação, acessos directos a assegurar, estacionamento, etc. Importa ainda avaliar o espaço disponível e disponibilizável para a implantação da intersecção, bem como as coordenadas e alinhamentos dos diferentes ramos afluentes;
3. Definição da dimensão geral a adoptar e das necessidades de operacionalidade do veículo de projecto que associadas ao número de vias de entrada permitem definir a largura do anel de circulação;
4. Definição da Geometria da Intersecção com base nas exigências de operacionalidade, nas larguras das entradas e das saídas, raios mínimos e distâncias inter-ramos. Concepção dos ilhéus separadores em função das necessidades dos peões;
5. Avaliação dos Níveis de Capacidade, com base na geometria estabelecida. Ajustes nos diferentes parâmetros geométricos permitirão alterar as reservas de capacidade por entrada, recomendando-se a obtenção, para o ano de projecto, de rácios entre o fluxo de chegada e a capacidade inferiores a 0,85. A adopção de reservas de capacidade elevadas (rácios inferiores a 0,7) poderá revelar uma deficiente rentabilização económica da solução, salvo se perante espectros de tráfego inconsistentes ou de previsão difícil;
6. Verificação da Canalização e Deflexão dos Movimentos. Caso não seja devidamente assegurada, haverá que reajustar alguns parâmetros geométricos ou rever a posição e geometria dos ilhéus deflectores e/ou da ilha central;
7. Verificação da Consistência da Velocidade;
8. Verificação das Condições de Visibilidade nas diferentes entradas, na aproximação e no anel de circulação;
9. Adopção de Medidas Específicas, com base na identificação dos principais movimentos dos peões e dos ciclistas;

10. Projecto de Execução, com definição das coordenadas geodésicas e dos diferentes elementos necessários à sua implantação no local. Elaboração dos desenhos de pormenor;
11. Projectos da especialidade, nomeadamente do sistema de drenagem, sinalização reguladora e de informação. Cabe ainda a definição da estrutura do pavimento a adoptar bem como do sistema de iluminação pública.

4. REGRAS DE PROJECTO GEOMÉTRICO

4.1 INTRODUÇÃO

As regras de dimensionamento apresentadas neste sub-capítulo procuram responder aos diferentes princípios de dimensionamento enunciados, enfatizando-se os aspectos que contribuem para um aumento dos níveis de capacidade e de segurança procurando a definição de soluções globais que sejam legíveis, seguras e fluídas.

O método de exposição adoptado nestas recomendações apoia-se na decomposição das rotundas nos seus elementos característicos mais relevantes, descrevendo-se as funções e os efeitos associados a cada um dos parâmetros. A análise comparativa dos valores apontados pelas mais conceituadas normas de concepção geométrica e a compreensão dos pressupostos teóricos que serviram de base à sua definição, fundamentam a especificação de algumas regras e orientações gerais sobre a definição geométrica da solução integrada.

Caracterizadas as gamas de variação dos diferentes parâmetros geométricos e definidas as principais regras práticas de concepção dos diferentes elementos fundamentais da rotunda, são ainda apresentados alguns critérios de avaliação do desempenho global da geometria resultante, nomeadamente ao nível dos diferentes critérios de visibilidade e de segurança, da consistência de velocidades, da canalização e deflexão mínima aplicada aos movimentos de atravessamento.

A garantia cumulativa de bons níveis de capacidade e de segurança rodoviária constituem assim a base das presentes recomendações geométricas. Refira-se, no entanto, que as gamas de valores apresentadas constituem intervalos de variação “aconselháveis” com o intuito de resultar em soluções geométricas ideais, aceitando-se, para a maior parte dos parâmetros, que em circunstâncias excepcionais e justificáveis, esses valores possam ser desrespeitados para o que, em alguns casos, tal implicará a adopção de medidas complementares de segurança e de processos de monitorização à posteriori do funcionamento da solução.

4.2 VEÍCULO DE PROJECTO

O manual australiano (Austroads, 1993), considera três tipos de veículo de projecto para especificação das exigências de dimensionamento, em função do meio de inserção: o veículo ligeiro de 5,18 metros para zonas de fraca presença de veículos pesados; autocarro de 12,2 metros para zonas urbanas e o veículo semi-reboque de 17,5 metros para vias colectoras/distribuidoras principais e zonas interurbanas. A mesma fonte defende que os veículos semi-reboque apenas assumem expressão em zonas interurbanas e que necessitam, para se inscrever, de um diâmetro externo mínimo de cerca de 30 metros (incluindo bermas), ou seja de um raio interior mínimo de cerca de 8 metros.

Neste contexto, para raios interiores superiores a 8 metros as especificações apresentadas baseiam-se no veículo projecto semi-reboque com 17,5

metros de comprimento, solução mais condicionante que o veículo de dimensões máximas estipulado pela Portaria nº 1093/97 de 3 de Novembro (veículo semi-reboque de 16,5 metros).

Para raios interiores inferiores aos 8 metros, as especificações baseiam-se nas exigências do veículo articulado de 15,5 metros de comprimento, considerado pelo manual inglês (DfT, 1993) como o mais condicionante de entre o conjunto de veículos de grandes dimensões, tais como os camiões de 11 metros, autocarros de 12 metros, ou mesmo os conjuntos veículo-reboque com 18 metros de comprimento.

4.3 DISPOSIÇÃO DOS RAMOS AFLUENTES E POSICIONAMENTO DA ILHA CENTRAL

Uma rotunda, através do seu anel de circulação, constitui um elemento de articulação entre os diferentes ramos afluentes, dispostos de forma a garantir entre si a prática de boas condições de operacionalidade. A disposição dos diferentes ramos deverá ainda impedir o traçado de trajectórias de atravessamento directas ou de circuitos de atravessamento que possam provocar no condutor uma sensação errónea de continuidade do itinerário, induzindo-o a recusar ceder o direito de passagem ao nível da entrada.

É genericamente aceite que do ponto de vista da eficácia do ordenamento global, uma repartição equilibrada conduz, de uma forma geral, a distâncias e a ângulos de viragem inter-ramos equiparados e, portanto mais adequados (SETRA, 1998).

Todavia a garantia de uma repartição regular não é obrigatória, desde que salvaguardada a legibilidade e a operacionalidade da intersecção. Para isso, importa garantir que todas as directrizes associadas aos ramos afluentes passem pelo centro da ilha central.

Esta corresponde à condição ideal de implantação da ilha central, quer do ponto de vista da inserção e percepção visual da intersecção, quer na garantia de deflexões dos movimentos nas diferentes entradas. No entanto, o prolongamento das directrizes dos ramos afluentes raramente recai sobre um único ponto de intersecção, podendo formar um polígono (ver Figura 10) mais ou menos vasto. O centro da rotunda deve assim situar-se no interior desse polígono, sendo que a sua localização final é o resultado de um processo de ajustamentos heurísticos sucessivos. A existência de polígonos particularmente alongados levará, muitas vezes, ao restabelecimento de algum(s) ramo(s) ou à avaliação da adopção de vários centros e, por consequência, de rotundas não circulares.

Na impossibilidade de se atender a estas disposições, recomenda-se que a rotunda seja centrada relativamente ao eixo principal, restabelecendo-se o traçado das vias secundárias para o centro da rotunda. É aceitável recorrer-se a um ligeiro descentramento dos ramos secundários, sendo desejável que o mesmo seja imposto para a esquerda, de forma a evitar a criação de entradas tangenciais.

A garantia de bons níveis de segurança e de operacionalidade passa ainda por garantir distâncias mínimas inter-ramos que permitam separar adequadamente os pontos de conflito gerados entre as diferentes entradas e saídas consecutivas e viabilizem todos os movimentos direccionais. Refira-se que para além dos problemas ligados à operacionalidade, o cruzamento dos veículos que se inserem numa determinada entrada e os veículos que pretendem abandoná-la na saída consecutiva, é efectuado sob ângulos de embate tanto mais perigosos quanto menor for a distância entre os dois ramos. Para assegurar ângulos de baixa perigosidade quer as normas francesas (SETRA, 1984) quer as espanholas (Hoz et al., 1995) recomendam a adopção de **distâncias mínimas de 20 metros**, medidos entre os extremos mais próximos dos ilhéus separadores dos dois ramos consecutivos, ao nível do DCI. Essa condição está habi-

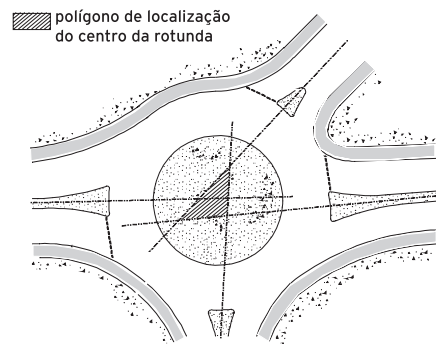


Figura 10 - Polígono de localização do centro da rotunda

tualmente salvaguardada desde que seja garantido o raio mínimo de viragem entre os diferentes ramos consecutivos. Em situações extremas tais princípios podem conduzir à necessidade de proceder ao restabelecimento de alguns dos ramos afluentes a partir da sua aproximação.

4.4 DIMENSIONAMENTO DAS ENTRADAS

Da análise da maioria das referências da especialidade verifica-se que os níveis de desempenho de uma rotunda são determinados fundamentalmente pelas características da aproximação e da entrada. Por essa razão este documento debruça-se com particular atenção sobre o estudo, quer do traçado de aproximação à rotunda, quer sobre os parâmetros que constituem a correspondente entrada.

4.4.1 APROXIMAÇÃO E PERCEPÇÃO DA ENTRADA

Os estudos de sinistralidade aplicados às rotundas referem que a maioria dos acidentes incide nas imediações da entrada, envolvendo conflitos relacionados com a recusa de cedência de passagem ou com a perda de controlo do veículo junto à entrada, com a consequente invasão da ilha central ou com embates do tipo frente-traseira. Todas estas tipologias de acidentes relacionam-se maioritariamente com deficiências de percepção ou de reconhecimento atempado da intersecção e, por consequência, com reacções tardias à presença da rotunda. Importa assim apostar na adopção de medidas que contribuam para aumentar a legibilidade e notoriedade da solução e que complementarmente contribuam para a adaptação natural das velocidades durante a aproximação.

Nessa linha de acção é desaconselhada a localização de intersecções em locais de visibilidade deficiente, nomeadamente em curvas verticais convexas, na sequência de trainéis com inclinação acentuada ou integradas em curvas em planta de raio reduzido.

Também o traçado de aproximação assume um papel fundamental na segurança da rotunda. Nessa óptica é desaconselhada a localização de rotundas na sequência de alinhamentos rectos longos, sendo recomendado o seu restabelecimento transformando-o num traçado sinuoso constituído por uma sequência lógica de curvas e contracurvas. Tal princípio não justifica, no entanto, a adopção de raios de curvatura reduzidos, ou de curvas e contracurvas que exijam alterações bruscas ao comportamento dos condutores e, portanto, violem as suas expectativas naturais. Um exemplo típico desta situação é a utilização da curva e contracurva brusca ao nível da proximidade da entrada a qual poderá resultar na adopção deliberada de comportamentos incorrectos, por parte do condutor, quer do ponto de vista das velocidades quer das trajectórias escolhidas. Assim, o estudo da sequência das curvas e contracurvas deverá ter por base as regras gerais de homogeneidade de traçado, apostando na sequência de curvas de raios progressivamente mais baixos, de modo a que a velocidade possa ser, de forma suave, adaptada às características prevalecentes da entrada na rotunda.

Segundo o SETRA (1998) as curvas e contracurvas devem limitar-se ao traçado de aproximação sendo que a inserção do ramo afluente no anel de circulação deve ser sempre efectuada segundo um alinhamento recto suficientemente alongado que assegure as indispensáveis condições de visibilidade. Idealmente, recomenda-se a disponibilização de alinhamentos com pelo menos 250 metros (350 metros perante perfis 2x2), os quais podem baixar para 150 metros face à reformulação de um cruzamento existente. Em zona urbana esse alinhamento pode ser totalmente suprimido, desde que a curva e contracurva garanta uma transição suave.

Refira-se no entanto que, a notoriedade da solução pode ainda passar pela adopção de medidas e equipamentos complementares de apoio. A disponibilização de espaço que permita o dimensionamento adequado dos ilhéus separadores e, com eles, a garantia de uma boa canalização dos movimentos ao nível da entrada poderá contribuir significativamente para a atenuação dos

acidentes por despiste na entrada e invasão da ilha central. Também a adopção de tratamentos paisagísticos (ruptura de alinhamentos formados por arbustos ou árvores, plantações isoladas, imposição de contrastes visuais, recorrendo a materiais de diferentes cores ou mesmo a alterações dos alinhamentos da iluminação pública) que envolvam e encaminhem adequadamente o condutor na aproximação da rotunda, se pode revelar extremamente eficiente. A adopção de esquemas de sinalização de orientação, nomeadamente ao nível da pré-sinalização, revela-se igualmente favorável ao reconhecimento atempado da solução, por parte do condutor, considerando-se a sua aplicação recomendável em zona urbana e obrigatória em meios inter e peri-urbanos.

Importa ainda referir que o assegurar de bons níveis de visibilidade da intersecção passa, não só, pela concepção geométrica mas também pela eliminação de obstáculos ou de mobiliário urbano das zonas de aproximação que possam interferir com a normal percepção das distâncias de segurança ou dos restantes utilizadores da rotunda, nomeadamente dos peões.

4.4.2 NÚMERO DE VIAS E LARGURA DAS ENTRADAS

A largura da entrada (parâmetro *e* na Figura 11) é o parâmetro que assume maior peso na definição da capacidade da entrada, não sendo esse efeito meramente relacionado com o número de vias disponibilizadas, já que a capacidade tende a aumentar à medida que se incrementa a largura da entrada. Por essa razão o parâmetro de base à definição da entrada é habitualmente a largura efectiva² e não o número de vias adoptado.

No entanto, a disponibilização de um número elevado de vias de entrada associa-se habitualmente a dificuldades de legibilidade e a indecisões comportamentais, por parte do condutor, sobre qual das vias a utilizar em função dos movimentos pretendidos. A multiplicidade de entrecruzamentos gerada na zona de entrada e do anel aliados a comportamentos imprevisíveis estão frequentemente na origem de acidentes de pequena gravidade e de quebras de fluidez e capacidade.

Assim a largura da entrada (*e*, por inerência, o número de vias) é um dos parâmetros, cuja definição depende estrategicamente do princípio de dimensionamento a privilegiar sendo que, por razões de segurança se deve procurar limitar o número de vias de circulação a disponibilizar ao mínimo indispensável para garantir as condições de fluidez desejadas, bem como eliminar quaisquer sobrelarguras desnecessárias ao nível da entrada (FHWA, 2000).

Sempre que não existam problemas de capacidade, deve preferencialmente optar-se por soluções com uma única via de circulação, já que os níveis de segurança tenderão a ser mais elevados que nas soluções com múltiplas vias. Esta deverá ser igualmente a solução a adoptar sempre que se pretenda predominantemente a promoção da segurança e da amenidade de circulação.

Quando privilegiado o princípio da optimização do nível de serviço, a definição do número de vias deve basear-se nos volumes e características dos tráfegos envolvidos, de forma a responder aos níveis de capacidade e requisitos operacionais pré-estabelecidos. Sempre que não existam cumulativamente objectivos específicos de acalmia de tráfego, por razões de fluidez do tráfego e de minimização das demoras, é recomendável acrescer pelo menos mais uma via de entrada em relação ao número de vias existentes na aproximação. Nestas situações, devem ser tomados cuidados especiais na concepção da entrada, de forma a salvaguardar a adequada deflexão dos movimentos de atravessamento. Perante perfis 2x2 não se justifica habitualmente a eliminação de uma das vias, excepto se os condicionalismos de espaço o exigirem.

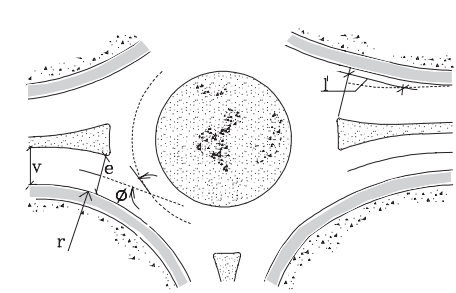


Figura 11 - Parâmetros geométricos da entrada

² Considera-se a largura efectiva da entrada (*e*), a largura da entrada medida na perpendicular à concordância junto à linha de cedência de passagem, tal como representado na Figura 11.

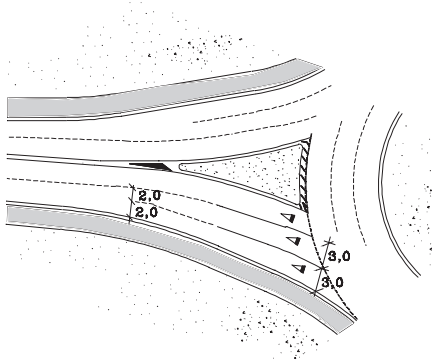
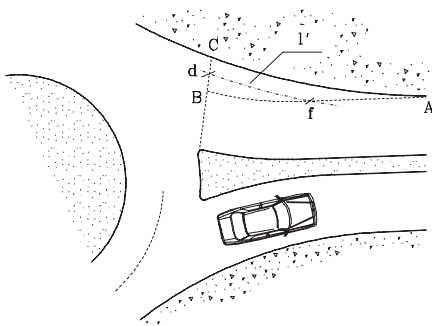


Figura 12 - Largura mínima das vias



36

Figura 13 - Medição do comprimento efectivo do leque (l')

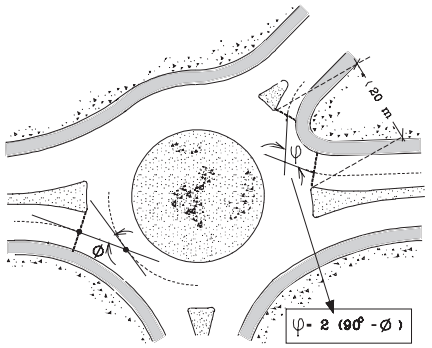


Figura 14 - Processo de medição do ângulo de entrada (φ)

Por razões de segurança e operacionalidade **o número máximo de vias de entrada** deve ser preferencialmente limitado a **três**, embora em perfis 2x2 e perante níveis de procura de tráfego significativos se aceite o seu acréscimo para 4 vias de entrada (DfT, 1993).

Em termos de largura efectiva recomenda-se a adopção de valores compreendidos entre **os 4 e os 12 metros**, podendo em perfis de aproximação de 2x2 e com 4 vias de entrada atingir os 15 metros. A largura mínima da(s) via(s) de entrada é determinada pelas exigências de operacionalidade dos veículos de maiores dimensões pelo que não se recomenda a adopção de vias de largura inferior a 3,0 metros (junto à linha de cedência de passagem) (ver Figura 12), sendo que perante uma única via de entrada esse valor deve ser aumentado para 4 metros. Perante limitações de espaço e, em particular, sempre que se pretenda aumentar a capacidade da intersecção, aceita-se a marcação de múltiplas vias de entrada, a partir da secção onde se consiga assegurar um mínimo de 2 ou 2,5 metros de largura por via, consoante se trate de uma rotunda inserida em zona urbana ou interurbana. Junto à linha de cedência de passagem a largura mínima absoluta da via deva ser de 2,5 metros, em zona urbana (DfT, 1993) (ver Figura 12) e de 3,0 metros em zonas interurbanas.

Note-se que a criação de leques, em resultado do aumento da largura efectiva da entrada face à largura na aproximação (Figura 13) se revela positivo sempre que se pretenda aumentar substancialmente a capacidade e fluidez do tráfego. A experiência inglesa (Kimber, 1980) demonstra que o comprimento efectivo do leque³ é um dos parâmetros que mais influencia a capacidade, sendo, no entanto, de notar que a disponibilização de vias adicionais extremamente curtas e, por consequência, com pequenos comprimentos de leque, tende a resultar em efeitos praticamente negligenciáveis na capacidade, enquanto que vias adicionais muito extensas se associam a benefícios marginais cada vez menores à medida que o seu comprimento aumenta.

O comprimento efectivo do leque a adoptar depende das necessidades de armazenamento, das características dos fluxos de chegada e das condições desejáveis para a legibilidade da entrada, sendo que em zonas urbanas as restrições de espaço normalmente exigem a adopção de entradas mais alargadas associadas a menores comprimentos de leque do que nas soluções localizadas em meios inter-urbanos. Recomenda-se a adopção de comprimentos de leques superiores a **5 metros em zona urbana e a 25 metros em zona interurbana**, não se justificando normalmente a utilização de leques com comprimentos superiores a **100 metros**. Como referência, as normas inglesas recomendam que o comprimento do leque seja superior ao dobro da largura efectiva da entrada ($l' \geq 2e$) (DfT, 1993).

4.4.3 ÂNGULOS DE ENTRADA

O ângulo de entrada⁴ (φ na Figura 11 e Figura 14) traduz a facilidade com que o veículo se insere no anel de circulação e, por consequência, a gravidade associada ao ângulo de embate entre os movimentos de entrada e da corrente principal.

Ângulos de entrada reduzidos traduzem-se na criação de entradas tangenciais e numa maior propensão para a recusa de cedência do direito de passagem junto à entrada, enquanto que ângulos alargados se associam a dificuldades acrescidas para inserção no anel, fomentando ainda a ocorrência de conflitos graves (próximos dos 90°). Para além disso, o ângulo da entrada assume igual-

3 Designa-se por *comprimento efectivo do leque* o parâmetro l' da Figura 11 medido da seguinte forma: traça-se uma paralela ao ilhéu separador AB. Obtém-se o ponto médio (d) do segmento BC, a partir do qual se traça uma paralela à delimitação do passeio ou da berma. O comprimento da curva "df" corresponde ao comprimento efectivo do leque.

4 Entende-se por ângulo de entrada, o ângulo formado pela tangente ao eixo do conjunto de vias de entrada junto à linha de cedência de passagem e a tangente ao eixo do anel no ponto de intersecção com a tangente anterior (DfT, 1993).

mente um peso na capacidade da entrada, embora esse efeito não seja muito significativo.

As diferenças assumidas pelas diferentes referências bibliográficas na definição deste parâmetro dificultam a comparação directa dos valores propostos sendo que, a norma francesa (SETRA, 1984) recomenda a adopção de ângulos de inserção⁵ compreendidos entre os 40 e os 60°, enquanto que as normas inglesa e espanhola (DfT, 1993; MOPU, 1995) apontam para ângulos de entrada entre os 20 e os 60°.

Na verdade, importa optar por ângulos de entrada que associados aos ilhéus separadores e à geometria das bermas, canalizem devidamente os veículos na aproximação e os inseriram no anel de uma forma segura, cómoda e concordante com as expectativas naturais dos condutores. Recomenda-se a adopção de ângulos de entrada compreendidos entre os **20** e os **60°**, apontando-se idealmente para valores de 30 a 40°.

O processo geométrico para medição do ângulo de entrada encontra-se especificado na Figura 14 consoante se trate de geometrias normais ou possuidoras de entradas e saídas muito próximas (distanciadas de menos de 20 metros medidas entre os extremos dos ilhéus separadores).

4.4.4 RAIOS DE ENTRADA

O raio de entrada (parâmetro r na Figura 11) é um factor determinante à operacionalidade da rotunda assumindo um efeito significativo quer ao nível da segurança e conforto de condução, quer da capacidade e fluidez da entrada. De facto, também os trabalhos de investigação levados a cabo em Portugal nesta matéria (Bastos Silva, 2004) mostraram que o raio de entrada influencia de forma significativa a velocidade de entrada na rotunda e, desta forma, a capacidade e segurança da mesma. Perante soluções com múltiplas vias este parâmetro influencia ainda a tendência evidenciada por alguns condutores em procurarem trajectórias directas no anel e a consequente a invasão da via adjacente.

Este parâmetro em conjugação com a geometria do ilhéu separador e a posição da ilha central determina as condições de inserção do veículo no anel, pelo que quando assume valores elevados pode resultar em deflexões deficientes e na prática de velocidades de entrada e atravessamento elevadas. Por oposição, quando são utilizados raios muito restritivos, pode ser posta em causa a operacionalidade da solução já que este tipo de geometria pode condicionar significativamente os movimentos dos veículos de maior dimensão.

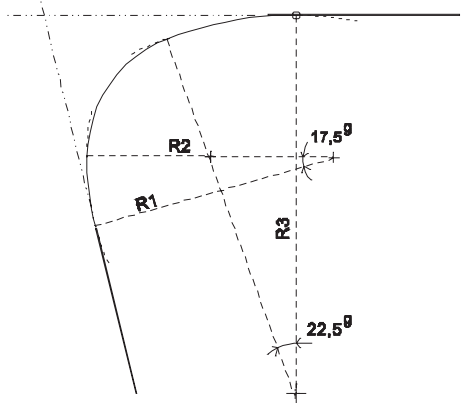


Figura 15 - Curvas compostas

O recurso a curvas circulares compostas (Figura 15) pode revelar-se bastante eficaz na resolução destas situações, permitindo a inscrição dos veículos longos sem recurso a sobrelarguras desnecessárias no anel. Esta medida pode ainda conduzir a soluções favoráveis do ponto de vista da circulação pedonal diminuindo a extensão dos atravessamentos e, por consequência, o comprimento de exposição ao risco. A adopção de relações entre os raios $R1:R2:R3 = 2:1:3$ com ângulos ao centro para o R1 e R3 de 17,5gr e 22,5gr, (ver Figura 15) tal como proposto na norma JAE P3/94, poderá revelar-se adequada a zonas interurbanas enquanto que curvas compostas simétricas que apostem numa relação de raios 3:1:3 com ângulos ao centro de 18° possivelmente se poderão ajustar melhor à maioria dos casos urbanos.

O valor a adoptar para o raio de entrada depende das características prevalentes da rede viária envolvente e, em particular, das características do traçado de aproximação, na medida em que deverá ser capaz de garantir uma variação diferencial de velocidades suave e concordante com as expectativas do condutor. O valor do raio deverá ainda depender das características do

5 Entende-se por ângulo de inserção, o ângulo formado pela tangente ao eixo da faixa de entrada, no ponto de intersecção com a delimitação do anel de circulação e a tangente a essa delimitação no mesmo ponto (SETRA, 1984).

37

tráfego envolvido, da funcionalidade das vias intersectadas e dos princípios de dimensionamento a valorizar.

Na presença significativa de tráfego de veículos pesados ou em vias interurbanas é recomendada a adopção de raios **superiores a 15 metros**, aceitando-se que em zonas urbanas esse valor possa baixar **até aos 10 metros**, ou até aos **6 metros** sempre que o volume de veículos pesados é negligenciável.

Por sua vez, o raio máximo deverá depender da geometria da aproximação e das medidas complementares eventualmente adoptadas para assegurar a deflexão dos movimentos, sendo contudo recomendável não ultrapassar os **50 metros**. Refira-se no entanto a necessidade do raio final de projecto resultar de um compromisso entre a geometria da entrada e da saída, devendo idealmente aproximar-se **dos 20 a 30 metros**.

4.4.5 ILHÉU SEPARADOR

Entre outras funções, cabe ao ilhéu separador separar as correntes de tráfego de entrada e saída na rotunda em cada eixo, canalizar os movimentos direccionais, servir de protecção pedonal e proteger a sinalização e/ou mobiliário urbano. Pelo facto de assegurar a separação física entre os fluxos de entrada e de saída, algumas referências bibliográficas atribuem-lhe alguma importância ao nível da capacidade da entrada (SETRA, 1984; Bovy, et. al., 1991) tendendo ainda a contribuir para uma melhoria da segurança, reduzindo o número e frequência dos acidentes junto à entrada (Arnt, 1994).

A concepção geométrica de cada ramo afluente deve assim ser direccionada de forma a permitir a implantação de um ilhéu separador fisicamente materializado e com características e dimensões adequadas. A forma e dimensão atribuída ao ilhéu separador assumem grande importância na canalização dos movimentos de entrada, contribuindo de uma forma significativa para a percepção e legibilidade da intersecção.

O processo metodológico a adoptar depende do ambiente onde se insere a rotunda e da importância das vias intersectadas, recomendando-se dois procedimentos diferentes.

Em vias urbanas onde prevalece a função acessibilidade, ou ramos secundários de intersecções interurbanas onde se registe a prática de velocidades de aproximação inferiores a 50km/h, aceita-se que o ilhéu separador resulte do prolongamento da curva circular que concorda tangencialmente a directriz da via afluente e a ilha central (Austroads, 1993 - ver Figura 16). O valor do raio a adoptar na concordância deve ser superior ao raio de entrada (recomendando-se habitualmente um valor próximo do raio de entrada acrescido da largura da entrada) devendo controlar-se a largura da entrada de forma a evitar criar afunilamentos nessa secção (Figura 16). Idealmente deverá ainda procurar-se que a canalização do veículo para o anel de circulação seja conseguida através da geometria da entrada e que, a ilha central se localize no prolongamento da tangente traçada a partir do extremo do ilhéu separador.

Este procedimento resulta habitualmente em ilhéus de pequena dimensão, revelando-se particularmente adequado a zonas onde existam grandes condicionamentos de espaço. Importa por isso garantir que o ordenamento resultante seja suficientemente notório durante a aproximação, pelo que qualquer dos seus lados deverá apresentar um comprimento superior a 2,5 metros e a área fechada do ilhéu ser superior a 10 m² (Austroads, 1993).

Em vias urbanas voltadas predominantemente para a função mobilidade, nas zonas interurbanas e, em particular, em locais onde a velocidade de aproximação seja superior a 50 km/h, a metodologia anterior pode não ser a mais adequada. Nestes ambientes, os ilhéus devem assumir maiores dimensões pelo que importa definir uma metodologia que permita disponibilizar espaço adicional para a criação de ilhéus separadores mais notórios.

Para estas situações propõe-se o processo de construção apresentado pelo SETRA (1998), o qual se subdivide em duas metodologias consoante o raio exterior da rotunda (R_{ext}, ou seja DCI/2) seja inferior ou superior a 15 metros. Ambas as metodologias assentam na construção de um triângulo construtivo de altura (H) igual ao raio exterior da rotunda (H=R_{ext}) e por uma base igual a um quarto do mesmo valor (B=R_{ext}/4).

Face a raios exteriores inferiores a 15 metros, a construção do triângulo forma-se simetricamente em relação à directriz do ramo afluente, subdividindo a base do triângulo de uma forma equitativa relativamente à mesma directriz. A delimitação física do ilhéu assenta no mesmo triângulo construtivo depois de concordado com a ilha central e de recuado relativamente à guia delimitadora conforme representado na Figura 17

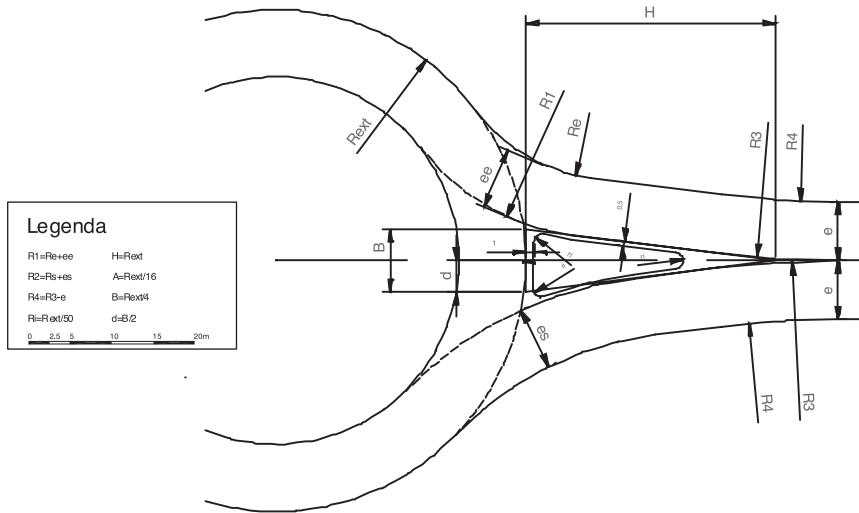


Figura 17 - Traçado do ilhéu separador - Rotundas com raio exterior inferior a 15 metros (SETRA, 1998)

Para raios exteriores superiores a 15 metros a metodologia é similar embora todo o processo construtivo do triângulo de base à concepção geométrica sofra um descentramento para a esquerda (d) relativamente à directriz do ramo afluente. Também a formação do triângulo de base sofre um descentramento em relação a esta nova linha construtiva, atribuindo-se ¼ da base do triângulo (B) para a esquerda e o complementar para a direita (ver Figura 18).

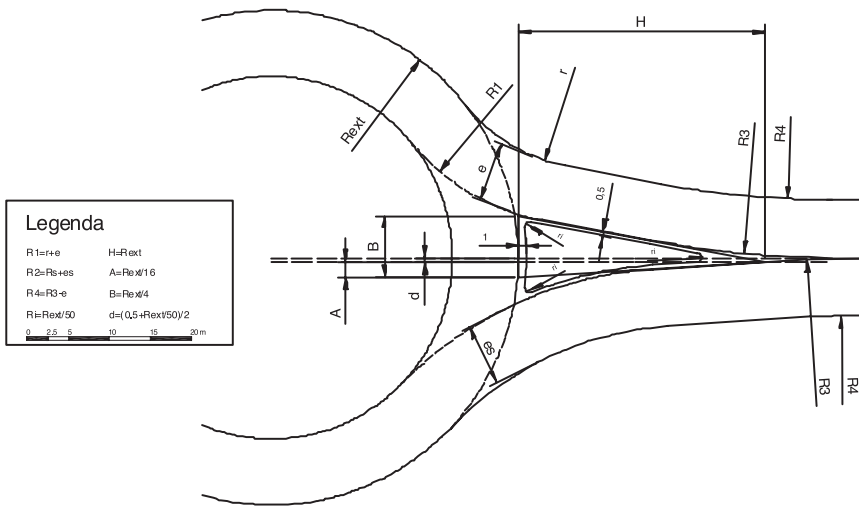


Figura 18 - Traçado do ilhéu separador - Rotundas com raio exterior superior a 15 metros (SETRA, 1998)

Genericamente, importa ainda referir que sempre que o ilhéu esteja associado a travessias pedonais, o mesmo deverá ser prolongado até à localização da passadeira onde deverá garantir uma largura desejável de 1,80 metros (com um mínimo de 1,2 metros) para paragem e armazenamento dos peões em segurança. Na zona de atravessamento o ilhéu deverá ser rebaixado ou simplesmente interrompido de forma a facilitar o atravessamento dos utilizadores com dificuldades de mobilidade.

Preferencialmente o ilhéu deve ser fisicamente materializado através de lancil galgável, de modo a permitir o seu galgamento pelos rodados esquerdos dos veículos de maiores dimensões. A sua delimitação física deve ser recuada em relação à guia delimitadora de acordo com o desenho de pormenor (ver Figura 19), recomendando-se que o afastamento na direcção do anel de circulação não ultrapasse o 1,0 metro de largura, de forma a não incentivar a prática de estacionamento ilegal, podendo mesmo em situações excepcionais atingir os 0,5 metros.

Aceita-se no entanto que perante soluções geométricas que não permitam respeitar as dimensões mínimas, se equacione a simples marcação no pavimento por recurso a marcas brancas retrorreflectoras. Perante vias de importância meramente local e sujeitas a fluxos de tráfego reduzidos a sua delimitação física ou mesmo a sua implantação, pode ser dispensada.

Se fisicamente materializados por lancil, a adopção de dispositivos reflectores de posição, bem como de marcas rodoviárias (raias, guias, etc) assume um papel preponderante no reconhecimento e percepção da intersecção. Em complemento, o seu revestimento superficial deve ser feito recorrendo a materiais de cores claras e contrastantes com a faixa de rodagem.

4.4.6 ADEQUAÇÃO DAS VELOCIDADES DE ENTRADA

A adequação dos valores da velocidade da entrada passa, segundo Arnt (2002), por condicionar a curvatura de entrada associada à trajectória correcta de mínimo incómodo, de modo a que o percentil 85 da distribuição da velocidade registada na secção de entrada não ultrapasse os 60km/h. Esta regra, para ambientes rodoviários favoráveis à prática de velocidades elevadas, traduz-se habitualmente na utilização de raios de curvatura de entrada inferiores a 60 metros.

O FHWA (2000) aponta para valores mais restritivos defendendo que a geometria de entrada deve ser definida em função da tipologia da solução e do meio em que a mesma se insere. Este princípio parece ser mais adequado à situação nacional sendo, por exemplo, legítimo admitir a prática de velocidades de entrada superiores em meios inter-urbanos relativamente aos urbanos. Os valores máximos da velocidade de entrada recomendados para efeito de avaliação da qualidade da solução são os apresentados na Tabela 3:

Tabela 3 - Velocidades de entrada máximas recomendadas (fonte: FHWA, 2000)

Categoria da solução	Velocidade máxima de Entrada recomendada (Km/h)
Mini-rotunda	25
Solução compacta em meio urbano	25
Rotunda normal urbana com uma via de circulação	35
Rotunda normal urbana com múltiplas vias	40
Rotunda normal inter-urbana com uma via de circulação	40
Rotunda normal inter-urbana com múltiplas vias	50

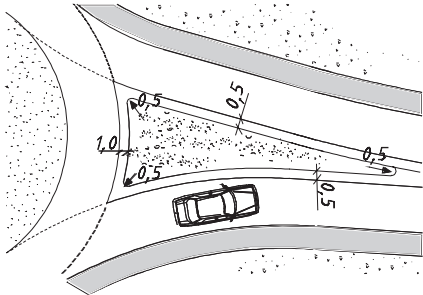


Figura 19 - Pormenor da demarcação física do ilhéu separador

Ainda segundo o FHWA (2000) a velocidade em cada elemento curvo do traçado, pode ser estimada tendo por base o raio de curvatura associado à trajectória correcta e de mínimo incómodo e a formulação estabelecida pela AASHTO representada graficamente através da Figura 20 (AASHTO, 1994).

V = √127 R(e + f) (1)

onde:
V - velocidade estimada no elemento curvo (Km/h)
R - raio (m);
e - sobreelevação(m/m);
f - coeficiente de atrito de acordo com a Figura 20.

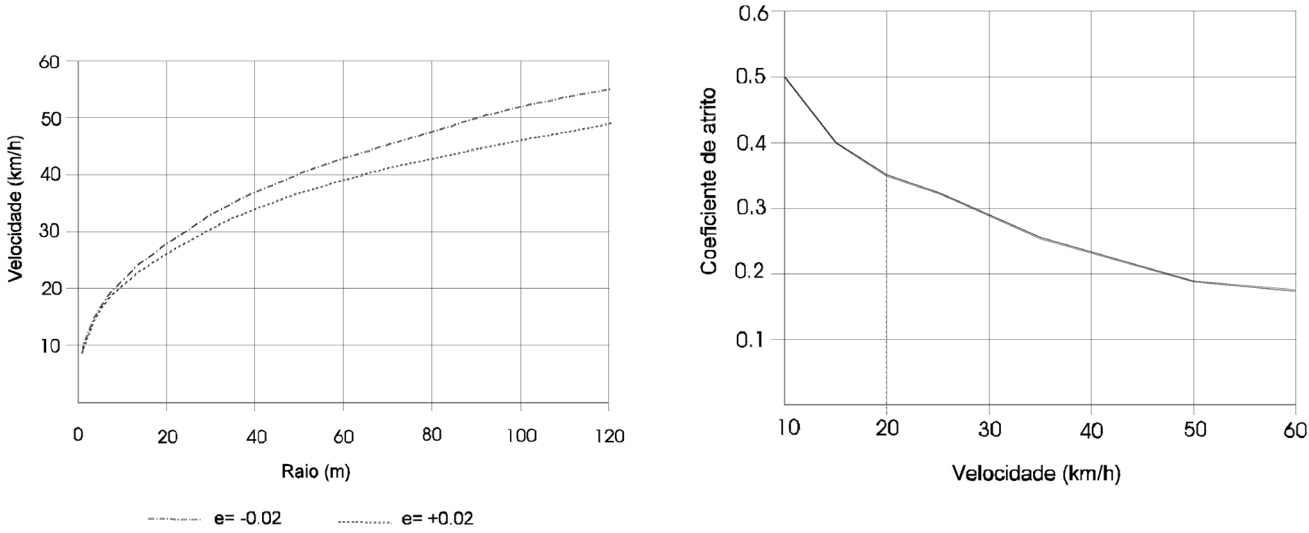


Figura 20 - (a) Relação entre o raio e a velocidade / (b) Relação entre o coef. de atrito e a velocidade (retirado de AASHTO, 1994)

4.5 ANEL DE CIRCULAÇÃO

Os estudos desenvolvidos por Bastos Silva (2004) demonstram que este parâmetro influencia quer os perfis de velocidade quer as trajectórias escolhidas pelo condutor. O dimensionamento do anel de circulação reveste-se assim de particular relevância, na medida em que este deve apresentar dimensões capazes de acomodar as necessidades dos diferentes veículos, garantindo uma capacidade de circulação superior aos fluxos canalizáveis pelo conjunto das entradas, sem contudo incitar os condutores à pratica de velocidades inapropriadas.

A adopção de múltiplas vias de entrada e de circulação no anel, dificulta, muitas vezes, a imposição de uma adequada deflexão dos movimentos de atravessamento, associando-se ainda a um menor condicionamento do comportamento do condutor e, por vezes, a velocidades e trajectórias inadequadas durante a fase de entrada e atravessamento da rotunda.

Nesta perspectiva, alguns manuais (FHWA, 200; SETRA, 1998; BOVY ET. AL, 1991) sugerem que, à semelhança das vias de entrada, o número de vias deve ser minimizado e que a largura adoptada deve evitar a incorporação de sobre-larguras desnecessárias.

É ainda desaconselhada a adopção de mais do que 3 vias de entrada e no anel de circulação (embora como atrás foi dito, em condições excepcionais de procura se aceite a adopção de 4 vias), devendo ainda limitar-se a sua largura a valores compreendidos entre os 5 e os 12 metros (excepcionalmente 15 metros).

A largura do anel deve ser preferencialmente constante e capaz de garantir a continuidade do número de vias adoptadas na entrada mais solicitada, pelo que normalmente o anel e essa entrada devem apresentar o mesmo número de vias.

Face a geometrias compactas são normalmente os condicionalismos relacionados com a operacionalidade dos veículos longos que determinam a largura mínima do anel, enquanto que para soluções de maiores dimensões é a garantia de continuidade entre vias de entrada e de circulação no anel, que tende a prevalecer.

A Tabela 4 especifica as larguras de ocupação requeridas por um, dois ou três veículos ao contornarem simultaneamente diferentes raios da ilha central, quando apenas um deles é articulado, já que a probabilidade de contorno em simultâneo de dois ou mais veículos articulados é em condições normais diminuta. No cálculo dos valores tabelados, considera-se ainda que o veículo de projecto carece de cerca de 28/30 metros inter-muros para executar uma manobra contínua de inversão de marcha.

A largura do anel deve ser definida em função da situação mais desfavorável resultante da ponderação dos valores da Tabela 4 e da condição da largura do anel estar compreendida entre 1 e 1,2 vezes a largura da maior entrada correspondente à aplicação do critério da garantia da continuidade do número de vias disponibilizadas ao nível da entrada.

Poderá assim considerar-se que a largura mínima a disponibilizar no anel de circulação resulta do somatório da faixa de ocupação do veículo de projecto (f_o) e das faixas de segurança a disponibilizar para as bermas. A mesma tabela aponta valores mínimos de DCI em função dos raios da ilha central (R_i) quando consideradas bermas (l_{berma}) com 1 metro de largura no contorno exterior do anel [$DCI = (R_i + f_o + l_{berma}) * 2$]. Perante a adopção de outras larguras de berma no exterior do anel, importa proceder à rectificação do valor do DCI com base na formula anterior e utilizando o novo valor de largura de berma. Refira-se o facto dos valores tabelados para o R_i , incluírem a largura de berma prevista no contorno da respectiva ilha central.

Tabela 4 - Faixas de ocupação dos veículos para rotundas normais⁶ em função do DCI⁷

Número de vias de circulação no anel						
Uma via		Duas vias			Três vias	
Raio da Ilha Central, incluindo berma (Ri) (m)	Faixa de ocupação (1 veículo articulado) f _o (m)	DCI (m)	Faixa de ocupação (1 veículo articulado + 1 veículo ligeiro) f _o (m)	DCI (m)	Faixa de ocupação (1 veículo articulado + 2 veículos ligeiros) f _o (m)	DCI (m)
3	10.0	28.0	---	---	---	---
4	9.4	28.8	---	---	---	---
5	8.9	29.8	---	---	---	---
6	8.4	30.8	---	---	---	---
7	8.0	32.0	1.9	39.8	---	---
8	7.6	33.2	1.5	41.0	---	---
9	7.3	34.6	1.2	42.4	---	---
10	7.0	36.0	10.9	43.8	14.8	51.6
11	6.7	37.4	10.6	45.2	14.5	53.0
13	6.5	41.0	10.3	48.6	14.2	56.4
15	6.2	44.4	10.1	52.2	14.0	60.0
17	6.0	48.0	9.9	55.8	13.8	63.6
19	5.9	51.8	9.7	59.4	13.6	67.2
21	5.7	55.4	9.6	63.2	13.5	71.0
23	5.6	59.2	9.5	67.0	13.4	74.8
25	5.5	63.0	9.4	70.8	13.3	78.6
27	5.4	66.8	9.3	74.6	13.2	82.4
29	5.4	70.8	9.2	78.4	13.0	86.0
31	5.3	74.6	9.1	82.2	12.9	89.8
51	5.0	114.0	8.8	121.6	12.6	129.2
101	4.6	213.2	8.4	220.8	12.2	228.4

6 Valores baseados em estudos desenvolvidos em Inglaterra (DfT, 1993) e na Austrália (Austroads, 1993)

7 O valor mínimo recomendado para o DCI, inclui bermas de 1m no contorno exterior da rotunda.

Perante DCI's compreendidos entre os 28 e os 36/40m e na presença de fluxos de pesados pouco significativos poderá, como foi referido anteriormente, ser equacionada a adopção de rotundas semi-galgáveis, onde a ilha central intransponível, de raio R_i , é contornada por uma faixa galgável destinada a facilitar as manobras de viragem deste tipo de veículo e a impor maiores deflexões aos movimentos dos veículos ligeiros. Nestas situações recomenda-se que a faixa de rodagem do anel assuma a largura mínima relacionada com as condições de operacionalidade (cerca de 1 a 1,2 vezes a largura da maior entrada), materializando-se a largura adicional quantificada a partir dos valores da Tabela 4, na faixa de contorno galgável a qual deve ser revestida por material de textura irregular de forma a tornar-se suficientemente desincentivadora à circulação dos veículos ligeiros.

4.6 DIMENSÃO GERAL DA ROTUNDA E ILHA CENTRAL

A generalidade dos manuais defende a redução ao mínimo possível da dimensão global da rotunda como forma de condicionar o comportamento do condutor e de aumentar a sua predisposição para a cedência do direito de passagem junto à entrada. Esta ideia de base é reforçada por estudos levados a cabo pelo TRL sobre o desempenho geral das rotundas (Kimber, 1980; Webb e Taylor, 1992), os quais demonstram que a sua dimensão global não apresenta um peso muito significativo no valor da capacidade da entrada evidenciando, pelo contrário, um aumento da probabilidade de ocorrência de acidentes.

Por razões de segurança a maioria dos manuais recomenda assim, perante soluções com uma única via, a adopção de DCIs compreendidos entre os 30 e os 40 metros. Na forte presença de utilizadores vulneráveis, tais como idosos ou crianças, ou sempre que se pretenda que a rotunda funcione como uma medida eficaz de acalmia de tráfego, recomenda-se a adopção de DCIs com valores próximos dos 30 metros. Este valor corresponde praticamente ao mínimo (28/30 metros) exigido para atender aos requisitos de viragem relacionados com o veículo de projecto.

No entanto e sempre que não existam condicionalismos de segurança, dever-se-á procurar obter valores do DCI na ordem dos 40/50 metros, assumindo-se vias duplas no anel e leques nas entradas. Perante elevados valores da procura de tráfego poderá tornar-se indispensável a disponibilização de múltiplas vias de circulação e o valor de DCI poderá atingir os 60 metros em zonas urbanas e 80 metros em interurbanas.

Por sua vez, a ilha central constitui o elemento funcional e formal mais importante da rotunda. Ela torna notória a descontinuidade da infraestrutura, clarifica a subordinação das diferentes entradas e constitui um elemento de canalização do tráfego. No que respeita à forma e dimensão atribuída à ilha central de uma rotunda vários estudos se pronunciam pela sua relevância no condicionamento do comportamento dos condutores e, por consequência, no índice de sinistralidade (Cete L'Ouest, 1986).

A ilha central deve assumir preferencialmente uma forma **circular** que induza à prática de comportamentos homogéneos e previsíveis, embora seja igualmente aceitável a adopção de formas **ovóides, ligeiramente alongadas, ou elipsoidais de baixa excentricidade**. Sempre que o número e disposição dos ramos afluentes resulte em soluções de grandes dimensões, poderá ser equacionada e avaliada a hipótese de implantação de uma praça com regras de regulação do tráfego similares ao funcionamento de uma rotunda normal.

As ilhas centrais de pequena dimensão tornam-se visualmente pouco marcantes e, por sua vez, dificilmente perceptíveis durante a aproximação, resultando frequentemente na sua invasão ou mesmo transposição. Apresentam ainda deficientes condições de operacionalidade, nomeadamente na forte presença de veículos longos ou de movimentos de viragens à esquerda e inversão de marcha. Por sua vez, ilhas centrais de grandes dimensões, para

além de exigirem maiores custos de ocupação do solo, estão habitualmente associadas à prática de velocidades de atravessamento elevadas.

Assim, a dimensão da ilha central é definida em função do valor do DCI adoptado e da largura do anel de circulação, recomendando-se em condições normais de tráfego a adopção de raios compreendidos entre 2 e 30 metros. Em zonas urbanas recomenda-se a adopção de raios preferencialmente inferiores a 20 metros, enquanto que por razões de operacionalidade dos veículos de maiores dimensões, sempre que a sua presença assuma uma importância significativa (nomeadamente em zonas peri ou interurbanas), a ilha central deva assumir raios superiores a 8m.

Por sua vez, em mini-rotundas caracterizadas por DCIs inferiores a 18 metros, a ilha central deverá ser totalmente recoberta por marcas horizontais retrorreflectoras, eventualmente rodeada por marcadores tipo “olhos de gato” e obrigatoriamente por setas de orientação que indiquem o sentido de circulação dentro do anel.

Aceita-se que a ilha central possa ser materializada sempre que as mini-rotundas apresentem um DCI superior a 18 metros. Nestes casos, a materialização da ilha central é normalmente conseguida através da colocação de um disco ligeiramente sobreelevado na zona central (em forma de cúpula), construído em misturas betuminosas, argamassa de cimento ou blocos pré-fabricados que garantam um contraste visual com a faixa de rodagem. Aceitam-se elevações de 10 a 15 cm no centro da ilha central que deve ser radialmente disfarçada até atingir um mini-degrau entre 0,5 a 1,5 cm junto ao bordo delimitador (Figura 21).

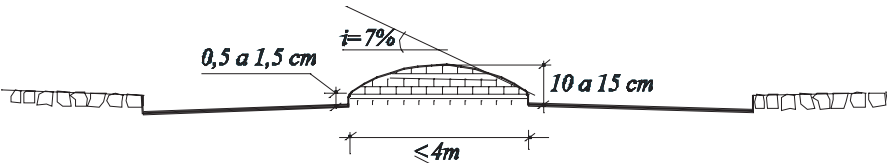


Figura 21 - Perfil transversal de uma Mini-rotunda - pormenor da ilha central

A elevação máxima a adoptar no centro da ilha central depende do seu diâmetro, aceitando-se um máximo de 15cm para diâmetros de 4 metros e valores proporcionalmente inferiores para ilhas de menores dimensões, resultando em inclinações transversais de aproximadamente 7%.

Refira-se finalmente que, por razões de operacionalidade, quando fisicamente materializada por lancil, a ilha central de uma rotunda normal deve ser delimitada por *lancil rampeado* que, possibilita o seu galgamento e transposição pelos rodados esquerdos dos veículos de maiores dimensões. No caso das mini-rotundas e rotundas semi-galgáveis, a delimitação da ilha central ou da faixa galgável relativamente à faixa de rodagem, poderá ser materializada através de lancil recto semi-enterrado de modo a que o desnível, tal como referido anteriormente, não ultrapasse os 1,5 cm.

Por razões de segurança pedonal e de operacionalidade da rotunda, não devem ser previstos passeios de contorno na ilha central nem travessias pedonais no anel de circulação. A única possível excepção a esta regra poderá ocorrer em “praças” urbanas de dimensões significativas.

4.7 DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS

A geometria da saída não apresenta um efeito directo na capacidade (DfT, 1993). A generalidade dos modelos de cálculo aposta no princípio de base de “*dificultar as entradas e facilitar as saídas*”, enfatizando a necessidade de conceber saídas desafogadas que garantam níveis de capacidade superiores aos assegurados pelas entradas e anel de circulação.

Contrariamente ao mencionado para a geometria das entradas, deixa de ser determinante garantir deflexões ou incitar à redução drástica da velocidade para, pelo contrário, se dever favorecer a fluidez do tráfego.

Nenhum dos estudos analisados associa um efeito muito directo da geometria da saída à ocorrência de acidentes. Segundo Arnt (1994) os acidentes registados ao nível das saídas devem-se maioritariamente à incorrecta utilização das múltiplas vias disponibilizadas e a embates do tipo lateral-lateral. Este tipo de embates é igualmente comum face à presença de veículos pesados, sendo tanto mais comuns quanto menor é a largura da saída.

A maioria dos manuais defende que a geometria da saída deve ser determinada em função do utilizador preferencial, tendo ainda por base o princípio de que a maiores raios de curvatura correspondem maiores velocidades de circulação (FHWA, 2000). Na presença de consideráveis fluxos de veículos pesados, defende-se a adopção de saídas desafogadas, caracterizadas por larguras e raios de saída alargados, enquanto que face à presença de uma grande procura pedonal se devem condicionar as velocidades automóveis e a distância de exposição do peão ao risco, impondo-se nestes casos geometrias restritivas ao comportamento do condutor através da adopção de raios e de larguras mais reduzidos (DfT, 1993, CETUR, 1988; FHWA, 2000).

4.7.1 LARGURA DAS SAÍDAS

A largura a atribuir às saídas depende directamente dos fluxos de tráfego e do número de vias envolvidas. A regra de base, passa por assegurar a continuidade do número de vias atribuídas à entrada e ao anel de circulação, à excepção das rotundas com três vias de circulação onde se deve ponderar a disponibilização de apenas 2 vias na saída, já que se deve assumir que a via de entrada mais à esquerda, apenas deve servir os movimentos de viragem à esquerda e de inversão de marcha.

Mesmo perante rotundas com uma só via de circulação, as normas inglesas (DfT, 1993; DfT, 1984) apontam para a adopção de, pelo menos, 2 vias ou de larguras equivalentes que permitam a circulação simultânea de 2 veículos, minimizando-se, desta forma, a possibilidade de bloqueio. Sempre que os fluxos envolvidos não justifiquem a adopção de mais do que uma única via de circulação, a largura a atribuir à saída deve ser determinada com base na largura balizada pelo veículo de projecto, assumindo-se que nunca deverá ser **inferior a 4 metros**, sendo **preferencialmente 5 de metros**, acrescida das correspondentes bermas. Contudo e sempre que o separador central seja fisicamente materializado, a largura mínima da plataforma na saída deve aumentar para **7,0 metros**, eliminando-se desta forma qualquer possibilidade de bloqueio. Os valores recomendáveis sobem para **8 metros** quando asseguradas 2 vias de saída (acrescida das correspondentes bermas).

4.7.2 RAO DE SAÍDA

Segundo o DEPARTMENT OF TRANSPORT, (DfT, 1993), o raio da saída determina o conforto de condução e os níveis de operacionalidade oferecidos particularmente aos veículos pesados, pelo que a sua definição deve resultar da avaliação ponderada das necessidades relativas aos veículos pesados e aos peões.

Idealmente aponta-se para valores na ordem dos **20 a 40 metros**, aceitando-se uma vasta gama de variação em função dos princípios de dimensionamento a valorizar. O valor a adoptar deve resultar de uma lógica geométrica global, devendo ser de forma geral superior aos adoptados ao nível da entrada, desaconselhando-se a adopção de raios **inferiores a 20 metros ou superiores a 100 metros**. Com efeito, os 20 metros estão associados ao raio mínimo de viragem do veículo de projecto, enquanto que raios superiores aos 100 metros se revelam pouco eficientes ao nível do controlo das velocidades.

4.8 CRITÉRIOS DE VISIBILIDADE

A garantia dos critérios de visibilidade em intersecções, nomeadamente ao nível da entrada, assume um papel preponderante na sua percepção global apresentando um efeito directo no nível de segurança oferecido pela infra-estrutura. Basta para tal recordar que, segundo estudos de segurança desenvolvidos noutros países, a maioria dos acidentes ocorridos em rotundas (60 a 70%) ocorrem nas imediações da entrada, mediante despistes isolados na aproximação, perda de controle à entrada, ou recusa da cedência do direito de passagem (Stuwe, 1991; Guichet, 1992). Indirectamente os níveis de visibilidade tendem também a interferir nas velocidades adoptadas durante a aproximação e, por consequência, na segurança da intersecção. Segundo Maycok e Hall (1984) a distância de visibilidade de aproximação está correlacionada com a taxa de acidentes envolvendo veículos isolados, registando-se um aumento da propensão de acidentes à medida que aumenta a distância de visibilidade. Segundo estes autores, este resultado contraria aparentemente o que seria expectável, contudo permite inferir que importa controlar os níveis de visibilidade oferecidos ao condutor na aproximação à entrada, dentro de limites aceitáveis, sendo que quer o deficit quer o excesso de visibilidade tendem a se repercutir na diminuição dos níveis de segurança oferecidos pela rotunda.

Tais pressupostos requerem, normalmente, a existência de uma área isenta de elementos físicos que permita ao condutor durante a aproximação, entrada e atravessamento, visualizar obstáculos ou outros utilizadores da via pública ao longo das designadas distâncias de segurança. Apesar das diferenças aparentes nos critérios expostos pelos diversos manuais, constata-se que os princípios de base são genericamente consensuais. Com efeito, a norma francesa (SETRA, 1984 e SETRA, 1998) recomenda a adopção de medidas que permitam a qualquer condutor, durante a aproximação, perceber a existência da intersecção. A norma inglesa (DfT, 1993), a australiana (Austroads, 1993) e a espanhola (Hoz et.al., 1995), incorporam ainda o designado critério de visibilidade à entrada, assegurando que qualquer veículo nas proximidades da linha de cedência de passagem é capaz de visualizar a existência de eventuais veículos prioritários. A visibilidade durante o atravessamento e a eventual existência de peões em travessias localizadas na proximidade dos ramos afluentes, constitui igualmente uma preocupação generalizada.

Face às condições de circulação portuguesas, onde a experiência com o funcionamento das rotundas é ainda pouco familiar, optou-se por extremar a adopção de medidas que contribuam para melhorar a percepção global, recomendando-se a garantia dos seguintes critérios de visibilidade:

Critério da Visibilidade de Aproximação - “o condutor de qualquer veículo à distância de visibilidade de paragem, medida a partir da linha de cedência de passagem, deve ser capaz de visualizar o ilhéu separador, a ilha central e a faixa de rodagem no anel à esquerda (até ao ponto de tangencia com a recta que une o veículo à delimitação exterior do anel), de forma a aperceber-se da presença de eventuais obstáculos ou de veículos prioritários”. Este critério tal como representado na Figura 16 materializa-se pelo traçado de um triângulo com um vértice localizado a 2 metros da berma da via mais à esquerda e a uma distância DP da linha de cedência de passagem e a passar tangencialmente a 2 metros⁶ da delimitação exterior do anel (Figura 22).

A Tabela 5 indica as distâncias de visibilidade de paragem em patamar (inclinação <3%) em função da velocidade do tráfego.

6 Admite-se a distância máxima de 2 metros, por se considerar que perante as dimensões médias do parque automóvel nacional, qualquer veículo que circule o mais à direita possível é sempre perceptível.

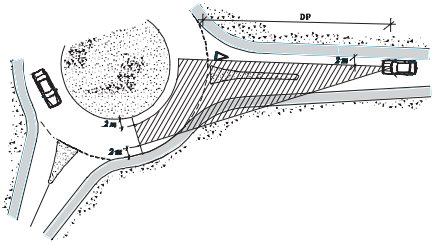


Figura 22 - Critério de visibilidade de aproximação (recomendável para situações ideais de circulação)

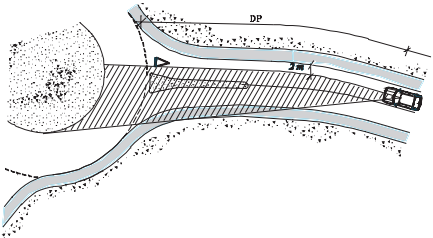


Figura 23 - Critério mínimo de visibilidade na aproximação

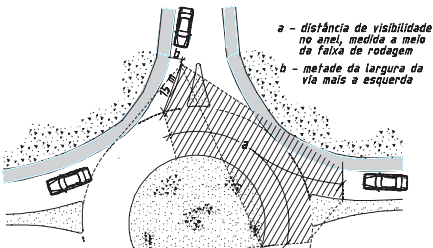


Figura 24 - Critério da visibilidade à entrada

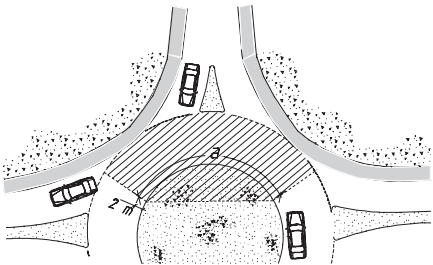


Figura 25 - Critério da Visibilidade no Anel

Tabela 5 - Distâncias de Visibilidade de Paragem (DP) - JAE P3/94

Velocidade do Tráfego (km/h)	Distância de Visibilidade de Paragem - DP (m)	Distância de Visibilidade de Decisão - DD (m)
40	40	---
50	60	---
60	80	200
70	100	240
80	120	270
100	180	330
120	250	400

Este critério de visibilidade tende, no entanto, a ser demasiado gravoso, nomeadamente em relação a meios urbanos onde a ocupação marginal tende a ser mais densa e onde tal exigência poderia inviabilizar a adopção deste tipo de intersecção. Nestas situações este critério deverá ser encarado como facultativo, constituindo uma recomendação a ter em conta sempre que se pretendam garantir as condições ideais de implantação. Parece contudo fundamental, particularmente em zonas interurbanas, que seja assegurada a visualização longínqua da ilha central de forma a que todo o condutor, com particular ênfase para os não habituais, possa alterar atempadamente o seu comportamento. Para tal, considera-se indispensável garantir que o condutor de qualquer veículo a uma distância igual à DP (preferencialmente igual à DD) em relação à linha de cedência de passagem, seja capaz de visualizar, pelo menos, o ilhéu separador e a ilha central nas imediações da entrada (Figura 23).

Critério da Visibilidade da Entrada - o condutor de qualquer veículo na proximidade da linha de cedência de passagem deve ter uma percepção global da faixa de rodagem no anel à sua esquerda, eventualmente prolongada pela entrada precedente, numa distância mínima relacionada com o intervalo crítico de aceitação.

Este critério de visibilidade pretende assegurar, através da desobstrução da ilha central e dos ilhéus separadores, que o condutor junto à entrada consegue avaliar a distribuição dos intervalos entre veículos da corrente prioritária e com isso poder inserir-se em segurança. Atendendo a que a geração dos intervalos críticos, para além das condições do tráfego, depende da velocidade de circulação no anel e que esta resulta directamente das características geométricas da intersecção, a Tabela 6 apresenta para diferentes DCIs as distâncias de visibilidade (a) a garantir no anel, medidas em relação ao eixo da faixa de rodagem, a partir de um veículo localizado a 15 metros da linha de cedência de passagem (Figura 24).

Tabela 6- Distâncias de visibilidade no Anel (retirado de DEPARTMENT OF TRANSPORT, 1993)

DCI (m)	<40	40-60	60-100	>100
Distância de Visibilidade no Anel (a) (m)	Todo o cruzamento	40	50	70

Critério da Visibilidade do Anel - o condutor de qualquer veículo que circule no anel, deve poder visualizar a faixa de rodagem à sua frente, numa distância mínima relacionada com a dimensão geral da rotunda.

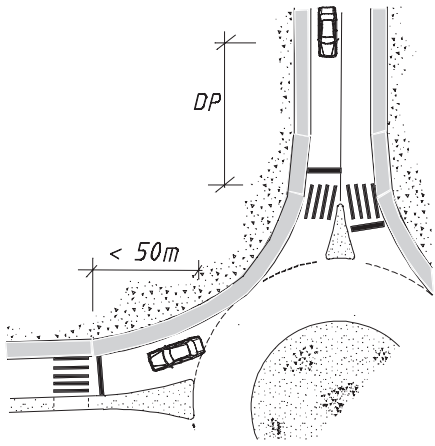


Figura 26 - Critérios de Visibilidade das Travessias Pedonais

Este critério, representado na Figura 25 e que deve ser verificado a partir de um veículo localizado a 2 metros da delimitação da ilha central, impõe habitualmente sérias restrições à colocação de elementos físicos, ou mesmo a modelação do terreno na ilha central que possam obstruir a visibilidade através da intersecção.

Critérios da Visibilidade das Travessias Pedonais – “na aproximação à rotunda, o condutor de qualquer veículo deverá poder visualizar, a pelo menos uma distância igual à DP, a globalidade de qualquer travessia pedonal eventualmente existente nessa via. Depois de atingida a linha de cedência de passagem, o condutor deverá ainda conseguir perceber a existência de eventuais travessias pedonais existentes na saída consecutiva, desde que colocadas a menos de 50 metros da delimitação do anel” (ver Figura 26).

A garantia destas condições de visibilidade, passa pelo condicionamento da colocação de obstáculos (tais como sinais de trânsito, plantações e mobiliário urbano) nas zonas críticas resultantes da aplicação dos diferentes critérios de visibilidade, embora se considere aceitável a implantação de elementos isolados de pequeno porte, tal como postes de iluminação pública.

Para além do cumprimento destes critérios de visibilidade, a proeminência da intersecção, pode ainda passar pela aplicação de marcadores ou de guias associadas quer aos lancis de delimitação da ilha central quer dos ilhéus separadores. Em ilhas centrais de pequena dimensão (como é o caso das mini-rotundas), revela-se igualmente eficiente a marcação no pavimento de setas de mini-rotunda em tinta retrorreflectora, indicando o sentido de circulação obrigatório.

Nas rotundas desniveladas providas de passagens superiores, a garantia dos níveis de visibilidade nos acessos é igualmente determinante no desempenho global do nó. O seu projecto deve, para tal, assegurar que a visibilidade de aproximação e entrada não é obstruída pela existência de guardas de segurança, sinais ou por quaisquer elementos estruturais.

4.9 CANALIZAÇÃO DE MOVIMENTOS

A canalização dos movimentos procura apoiar o condutor na tarefa de guiamento facultando-lhe orientações sobre as trajectórias a adoptar, procurando minimizar o número de pontos de conflito relacionados com o entrecruzamento de veículos por utilização indevida das vias de circulação disponibilizadas. Assegurar a devida canalização dos movimentos ao longo da entrada, atravessamento e saída da rotunda, determina em grande medida o desempenho geral da intersecção quer ao nível da segurança quer da fluidez e capacidade.

Este conceito torna-se particularmente importante na presença de múltiplas vias de entrada e de circulação no anel, facultando ao condutor orientações para que, em função do destino a tomar, este possa inscrever-se, atravessar e sair da rotunda optando por trajectórias correctas e comportamentos seguros sem entrar em conflitos desnecessários com os restantes veículos que circulam nas vias adjacentes.

A canalização está assim associada a um conjunto de informação fornecida ao condutor através da geometria das bermas, do ilhéu separador e de eventuais ilhéus deflectores complementares bem como pelas marcas rodoviárias (Figura 27).

Como já referido anteriormente, a concepção do ilhéu separador assume aqui um papel preponderante, na medida em que compete a este ilhéu posicionar e orientar devidamente os veículos em relação ao anel de circulação (Arnt, 2002). Para o efeito a sua delimitação deve procurar representar a trajectória natural do veículo, a qual corresponde ao prolongamento da curva de concordância entre o eixo da via afluente e a delimitação da ilha central (Austroads, 1993).

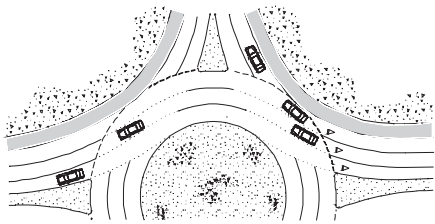


Figura 27 - Canalização dos movimentos

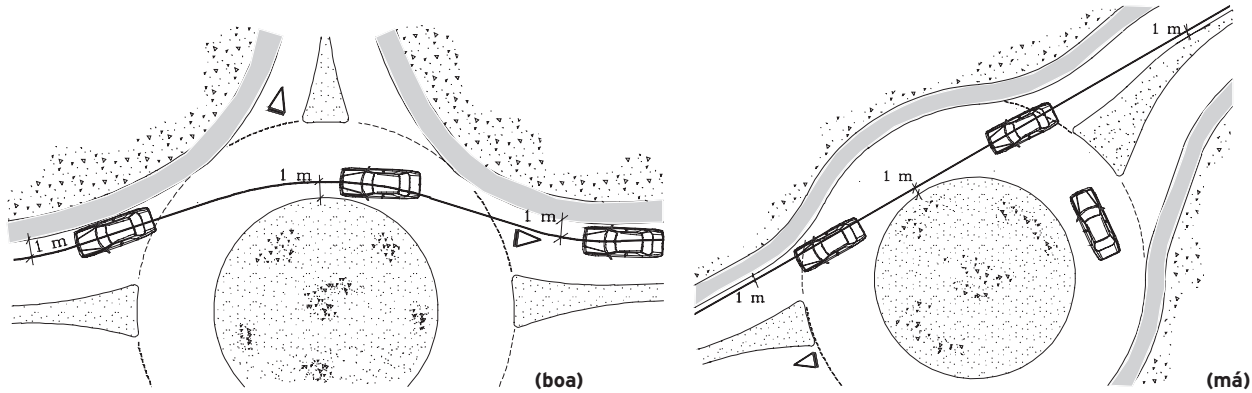


Figura 28 - Deflexão dos movimentos

4.10 DEFLEXÃO DOS MOVIMENTOS

Impor deflexões adequadas às trajectórias dos veículos durante a entrada e o atravessamento de uma rotunda é determinante no controlo dos acidentes nas imediações da entrada, impedindo que qualquer veículo transponha a intersecção sem estar sujeito a uma curvatura mínima e, por consequência, a um controlo da velocidade de entrada (DfT, 1993). A experiência internacional demonstra que a imposição de uma deflexão adequada associada a uma concepção geométrica que induza à prática de velocidades tendencialmente inferiores a 50km/h, tem resultados incontestavelmente positivos ao nível da gravidade e da taxa de sinistralidade (FHWA, 2000; Austroads, 1993). É assim dedutível que este factor apresenta uma importância acrescida em locais onde sejam atingidos níveis de velocidade de aproximação elevados, tais como em vias estruturantes e em zonas interurbanas.

O conceito de deflexão surge ligado à definição da trajectória de mínimo esforço (ou mais directa) representativa do percurso mais procurado pelos condutores de veículos que circulam em regime livre de circulação⁷, quando pretendem minimizar o esforço de condução (ver Figura 28).

Assume-se que uma determinada concepção garante a deflexão mínima desejável “sempre que a trajectória de mínimo incómodo integre um raio de valor inferior a 100 metros num desenvolvimento superior a 20 metros, nas imediações da linha de cedência de passagem, preferencialmente nos 50 metros que a precedem”.

Não existe uma metodologia exacta para o traçado da trajectória de menor esforço, associando-se habitualmente à adopção de uma conjugação de elementos rectos e de raios circulares que resultem numa trajectória suave e consistente, que passa tangencialmente e a uma distância aproximada de 1 metro dos elementos físicos restritivos da rotunda e ignora a existência de qualquer marca rodoviária (mesmo que aplicadas na delimitação de bermas). Os elementos restritivos são habitualmente o lancil junto à entrada, a delimitação da ilha central e o lancil junto à saída, embora possam ser considerados o lancil do separador central (Figura 28).

Como Assegurar a Deflexão?

A salvaguarda da deflexão dos movimentos passa, em primeira instância, pela avaliação da localização ideal para a ilha central, aliada à localização e geometria do ilhéu separador.

O aumento da dimensão ilha central ou mesmo a sua translação para a direita poderão resultar numa melhoria da deflexão, sendo que habitualmente estas medidas exigem num aumento da área de implantação. Em zonas urbanas onde os condicionalismos de espaço assumem maior expressão, optar pelo alargamento dos ilhéus separadores, de modo a impor desvios da trajectória

⁷ Segundo (Rodrigues, 1995), pode considerar-se que um veículo, em zona urbana, circula em condições livres sempre que não se localize nenhum outro veículo na sua dianteira a menos de 3,5 seg., (tempo máximo de percepção/reacção).

nas imediações da entrada, ou mesmo o recurso a ilhéus deflectores complementares poderá tornar-se mais adequado (Figura 29). Em países menos familiarizados com o funcionamento das rotundas, como é o caso de Portugal, a concepção e localização destes ilhéus complementares carece de cuidados especiais de forma a que não sejam erroneamente interpretados como ilhéus separadores. As marcas horizontais assumem, a este nível, um papel preponderante na canalização dos diferentes movimentos direccionais.

Em alternativa, a deflexão pode obrigar ao restabelecimento dos ramos que apresentem problemas, impondo-lhes um desfasamento da entrada para a esquerda, eliminando os itinerários contínuos. Esta solução poderá ser conseguida pela imposição de curvas e contra curvas na aproximação da entrada. A sua concepção geométrica cobre-se de particular importância, uma vez que a adopção de raios reduzidos pode desrespeitar as naturais expectativas do condutor (ao exigir alterações bruscas ao seu comportamento, sob risco de se tornarem inesperadas e originarem acidentes por despiste ou descontrolo à entrada). Nas entradas com múltiplas vias, essas alterações comportamentais podem passar pela procura, por parte dos condutores, de trajectórias que exijam o mínimo esforço, nomeadamente transpondo indiscriminadamente as marcas horizontais que delimitam as diferentes vias de entrada.

Assim deve procurar-se disponibilizar transições suaves, adoptando raios de aproximação concordantes com as expectativas dos condutores e compatíveis com a velocidade de base dos ramos afluentes, respeitando, na medida do possível, as recomendações previstas em 4.4.1. Sempre que tal princípio se revele impraticável, deve ser provida sinalização complementar de aviso e assegurados os indispensáveis níveis de visibilidade.

4.11 HOMOGENEIDADE DE TRAÇADO E CONSISTÊNCIA DE VELOCIDADES

O conceito de homogeneidade de traçado aplicado ao atravessamento de uma rotunda é bastante recente, sendo ainda muito limitado o número de referências bibliográficas que o abordam (ARNT, 2002; FHWA, 2000). Este conceito assenta no princípio de que os níveis de sinistralidade relacionados com os veículos que circulam em regime livre numa rotunda tendem a diminuir consideravelmente sempre que são respeitadas as expectativas do condutor e sempre que é garantida a consistência das velocidades ao longo do traçado de entrada e atravessamento.

O conceito de homogeneidade do traçado deriva do conceito geral aplicado a estrada corrente e assenta na definição da trajectória de mínimo incómodo aplicada a cada um dos movimentos direccionais e passa por garantir, em paralelo, dois princípios de base fundamentais:

- minimização da diferença relativa entre as velocidades em dois elementos geométricos consecutivos;
- minimização da diferença relativa entre as velocidades das correntes de tráfego conflituantes.

Da análise bibliográfica desenvolvida sobressaem diferentes critérios de avaliação bem como diferentes valores associados às variações diferenciais máximas a impor entre elementos sucessivos ou movimentos conflituantes entre si. Alguns autores defendem ainda que tal variação diferencial deverá depender do tipo de manobra a efectuar, embora para a maioria esse valor se cifre entre os 10 e os 30km/h.

Pela simplicidade do processo, recomenda-se a aplicação das regras de avaliação propostas pelo FHWA (2000) e que se resumem aos três pontos seguintes (ver Figura 30):

- 1 - O raio mínimo da trajectória de atravessamento, nas imediações da entrada (R_1), deve ser preferencialmente inferior ao menor raio traçado para

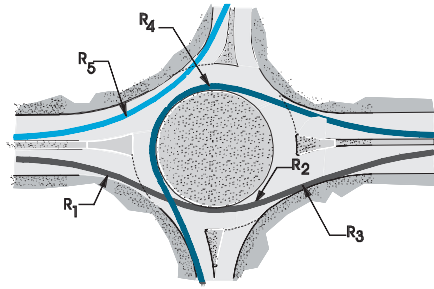


Figura 30 - Trajectórias do mínimo esforço por movimento direccional

contorno da ilha central (R_2) e este, por sua vez, deve ser inferior ao menor raio adoptado ao nível da saída (R_3), como forma de assegurar que as velocidades mínimas são atingidas nas imediações da entrada. Habitualmente o menor destes raios é obtido no contorno da ilha central (R_2), pelo que caso se revele fisicamente impossível garantir esta relação, deverá haver um esforço no sentido de conseguir que R_1 não exceda significativamente R_2 (garantindo nomeadamente uma diferença máxima de velocidades de 20km/h, preferencialmente 10km/h). O raio ao nível da saída (R_3) não deve ser inferior ao adoptado em R_1 e R_2 como forma de evitar perdas de controlo à saída, sendo que a invasão da via da direita por parte dos veículos que circulam na via da esquerda tende a diminuir à medida que aumenta R_3 ;

2 - Para os movimentos de viragem à esquerda, o raio traçado ao nível do contorno da ilha central (R_4) deve ser avaliado para que a diferença de velocidades entre a entrada e o movimento de contorno não ultrapasse os 20km/h. Tal medida permitirá atenuar a probabilidade de ocorrência de acidentes por descontrolo no anel de circulação;

3 - Os movimentos de viragem á direita, devem ser igualmente condicionados pelas velocidades dos restantes movimentos internos à rotunda. A velocidade atingida neste movimento (R_5) deve ser sempre inferior à velocidade máxima praticada nos restantes movimentos, não devendo exceder os 20 km/h em relação ao movimento prioritário de contorno (R_4).

Em complemento sugere-se que a variação diferencial do percentil 85 da distribuição da velocidade (diferença entre as velocidades registadas) entre correntes conflituantes, seja limitada de acordo com as seguintes regras (adaptadas de ARNT, 2002):

- a) *Entrada/anel de circulação* - o condicionamento da variação diferencial das velocidades entre os movimentos secundário de entrada e o prioritário no anel de circulação revela-se determinante à minimização da taxa de acidentes nas imediações da entrada, devendo, para tal, limitar-se a 20km/h, embora em situações extremas se aceitem diferenças que atinjam os 50km/h;
- b) *Anel de circulação/saída* - o condicionamento da variação diferencial das velocidades entre o movimento de saída e o de circulação no anel, revela-se significativo na taxa de acidentes na zona da saída, devendo, para tal, limitar-se a 20 km/h, ou em situações extremas a 35 km/h.

A situação mais crítica e difícil de assegurar relaciona-se habitualmente com o controlo da velocidade de entrada, nomeadamente em ambientes rodoviários que incentivem à prática de velocidades de aproximação elevadas. ARNT (2002) defende que a curvatura de entrada é um dos parâmetros geométricos mais importantes na determinação da segurança da rotunda, já que condiciona a prática de velocidades inadequadas no interior do anel.

A adopção de curvas e de contracurvas na aproximação recorrendo a uma sucessão de raios sucessivamente mais reduzidos que induzam a reduções progressivas das velocidades constitui, como se viu, o processo mais adequado, embora a adopção de medidas de acalmia de tráfego ou de equipamento complementar de segurança possa resultar igualmente em bons níveis de desempenho (ARNT, 2002).

Outro ponto crítico situa-se no anel de circulação, sempre que o raio de contorno no anel é substancialmente inferior ao adoptado na curvatura de entrada, sendo este fenómeno particularmente agravado na presença da inclinação transversal orientada para o extradorso. A minimização deste efeito pode passar pela diminuição do raio de curvatura de entrada aliada a uma adequada geometria de aproximação.

4.12 A EXPECTATIVA DO CONDUTOR FACE A SOLUÇÕES COM MÚLTIPLAS VIAS

Na presença de soluções com múltiplas vias de entrada e de circulação, a geometria da intersecção deve convidar, de uma forma natural, o condutor a manter-se na sua via de circulação, sem invadir a via adjacente. A violação desta estratégia para definição da solução geométrica poderá não ser interpretada como uma forma directa de desrespeito pela expectativa do condutor, já que não se trata de um efeito inesperado e portanto involuntário, mas sim a imposição de graus de incomodidade superiores aos que o condutor está na disposição de sofrer e com isso sentir-se incentivado a desrespeitar voluntariamente as regras de boa conduta.

Segundo o FHWA (2000) a tendencial invasão da via adjacente é um indicador representativo da eficiência da solução geométrica adoptada. A invasão da via adjacente como forma de minimizar o esforço de condução, afecta o desempenho geral da rotunda, reflectindo-se em problemas quer de segurança quer de capacidade. As situações mais comuns relacionam-se com as seguintes duas situações: o condutor que opta por circular na via da direita e ao atravessar o anel de circulação invade deliberadamente a via da esquerda na procura de trajectórias directas; o condutor que ao circular pela via da esquerda, nas imediações da saída opta por abandoná-la invadindo a via da direita procurando trajectórias rectilíneas e, por isso mais confortáveis.

O princípio chave na obtenção de soluções geométricas eficientes centra-se na percepção de que o condutor não pode mudar bruscamente a direcção do veículo ou a velocidade de circulação. A concretização deste princípio passa por assegurar que a trajectória correcta de mínimo incómodo não deve incluir alterações bruscas na curvatura, limitando-se a variação dos valores entre elementos sucessivos.

A metodologia proposta pelo FHWA (2000) assenta, perante uma geometria pré-concebida, na avaliação da homogeneidade do traçado associada à trajectória correcta de mínimo incómodo, aplicada aos movimentos direccionais. Essa avaliação assenta no controlo da variação dos raios de curvatura associada aos elementos geométricos consecutivos e, por consequência, na verificação da variação diferencial das velocidades (tal como enunciadas em 4.11) ao longo da trajectória de mínimo incómodo (mais rectilínea) se respeitadas as orientações sugeridas pela sinalização horizontal.

Em zonas urbanas, o FHWA (2000) recomenda ainda que, sem prejuízo de eventuais restrições locais, o raio de curvatura de entrada seja balizado entre os 30 e os 60 metros, enquanto que perante meios inter-urbanos o raio de curvatura possa atingir os 40 a 80 metros.

4.13 DISPOSITIVOS COMPLEMENTARES

Garantir a adequação do comportamento do condutor para negociar o atravessamento da rotunda em segurança nem sempre é possível com recurso unicamente ao traçado ou às limitações físicas impostas pela infraestrutura.

A impossibilidade de garantir a necessária deflexão dos movimentos, os ângulos de entrada adequados ou um traçado de aproximação (em planta ou perfil longitudinal) capaz de induzir naturalmente os condutores a reduzirem a velocidade de circulação, são habitualmente as causas mais apontadas para os níveis de sinistralidade registados na entrada, seja por invasão da ilha central ou por recusa de cedência do direito de passagem.

Nestas situações torna-se indispensável o recurso a dispositivos complementares de sinalização constituídos por sinalização vertical de pré-aviso e de regulação (imposição de uma limitação legal de velocidade) eventualmente associada à marcação de bandas cromáticas que, com os devidos espaçamentos, provoquem um impacto visual e acústico no condutor. Em zonas urbanas e perante situações excepcionais, tornar-se-á igualmente aceitável o

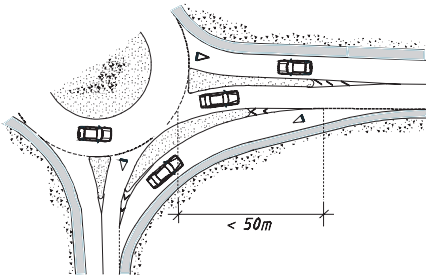


Figura 31 - Via segregada de viragem à direita com perda de prioridade

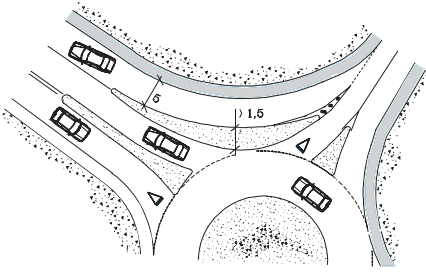


Figura 32 - Via segregada de viragem à direita, com via contínua de inserção

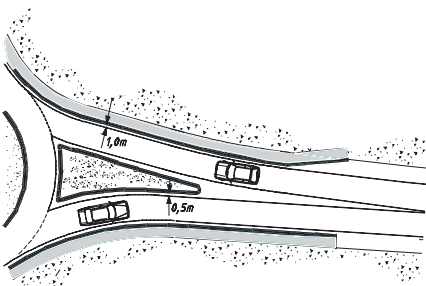


Figura 33 - Definição de passeios em entradas com ilha separador

recurso a bandas sonoras ou lombas que provoquem um ligeiro impacto físico, desde que devidamente dimensionadas e sinalizadas, nomeadamente através de sinais de pré-aviso e por uma sequência de quadrados brancos alternados na superfície do chanfro.

4.14 VIAS SEGREGADAS DE VIRAGEM À DIREITA

A adopção de uma via segregada de viragem à direita (Figura 25), pode resultar numa melhoria do nível de serviço da entrada correspondente e do desempenho global da rotunda.

Por razões sobretudo económicas, mas também de ocupação de solos, a sua construção apenas se justifica face a níveis de tráfegos de viragem à direita significativos, ou na presença de condicionantes geométricas que impossibilitem o assegurar dos ângulos e raios mínimos de viragem. Segundo as normas inglesa (DfT, 1993) e espanhola (HOZ ET.AL, 1995), justifica-se a sua adopção, sempre que o fluxo de viragem à direita atinge os 300 veíc./h ou represente pelo menos 50% do tráfego total da entrada.

Este tipo de via pode atingir valores consideráveis de capacidade, sendo frequente encontrar na bibliografia da especialidade referências a fluxos de saturação superiores a 1300 veíc./h (HOZ ET.AL, 1995).

Os maiores problemas associados à implantação deste tipo de medida, relacionam-se com o risco dos condutores que circulam no anel lhe acederem inapropriadamente e com a geração de conflitos viários na saída junto ao ponto de inserção. É-lhe ainda atribuído habitualmente um acréscimo da complexidade associada ao esquema de sinalização de orientação, bem como uma dificuldade acrescida em salvaguardar a segurança pedonal.

Para obviar a estes problemas, as normas francesas (SETRA; 1984) e inglesas (DfT, 1993) recomendam que este tipo de baínhas devam ser constituídas por uma única via de circulação, de largura condicionada pela faixa de ocupação do veículo-projecto (com cerca de 5 metros, excluindo bermas) e serem fisicamente delimitadas em relação ao anel mediante um separador materializado por lancil. Este separador funciona como um obstáculo físico e visual que impede que os veículos que contornam a ilha central lhe acedam inadvertidamente. A legibilidade e notoriedade da solução, a capacidade para acomodação de sinais de trânsito ou de mobiliário urbano e a sua eficiência enquanto medida de apoio à segurança dos peões, passa por atribuir dimensões adequadas a esse ilhéu, devendo mesmo evitar-se a utilização de larguras inferiores a 1,5 metros na zona mais larga.

Os problemas de segurança relacionados com a inserção do movimento de viragem à direita, na corrente prioritária, devem-se fundamentalmente à velocidade entretanto adquirida pelos veículos prioritários na zona de saída, pelo que as normas inglesas recomendam que o local de inserção se localize o mais perto possível da delimitação da saída e, nunca a mais de 50 metros (Figura 31). É no entanto desejável optar pela continuidade da via segregada no ramo da saída (Figura 32) o que é normalmente possível face a perfis transversais dos eixos afluentes do tipo 2x2.

4.15 DEFINIÇÃO DE BERMAS

Por razões de segurança e de forma a condicionar o comportamento do condutor durante a fase de entrada e de atravessamento da rotunda, nomeadamente pela salvaguarda da deflexão dos movimentos, considera-se indispensável limitar a largura das bermas desde a aproximação (máximo de 1 metro de largura) e preferencialmente recorrer sempre à materialização física da delimitação exterior do anel de circulação, bem como dos ramos de acesso na zona de aproximação (Figura 33). Essa materialização poderá ser efectuada preferencialmente recorrendo à construção de passeios (mediante a utilização de lancis

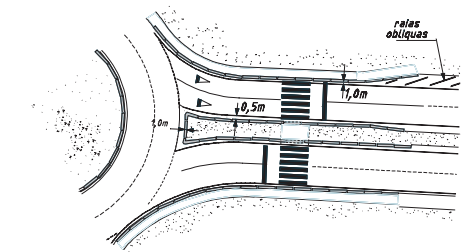


Figura 34 – Definição de passeios em entradas com separador central

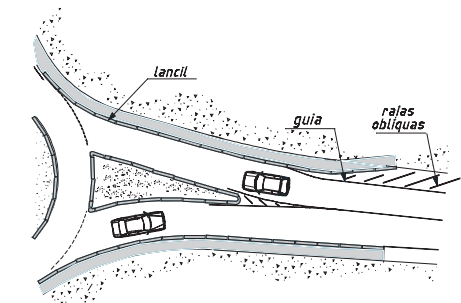


Figura 35 – Definição de passeios em zona urbana, com supressão de bermas

rectos), ou em alternativa (nomeadamente em meios interurbanos) através da colocação de bandas sonoras moldadas nas bermas ou por recurso a bermas mistas mediante a pavimentação da largura excedentária da berma (restante berma para além de 1 metro) com material que garanta algum desconforto de condução, designadamente, em calçada à portuguesa, terra batida ou arrelvamento.

A transição da berma das vias para passeio materializado nas proximidades das rotundas, pode constituir um “efeito surpresa” sobre o condutor, representando um obstáculo físico que carece de alguns cuidados especiais de concepção para que não se torne um elemento gerador de problemas de segurança.

O procedimento mais simples passa pela colocação de lancis nas imediações da secção de início de formação do leque, ou da extremidade de eventuais ilhéus separadores (Figura 33). Contudo e na presença de passagens para peões torna-se indispensável o seu prolongamento até às mesmas de forma a garantir a continuidade dos trajectos pedonais.

Deverá evitar-se criar um obstáculo físico inesperado para o condutor que circule com um rodado sobre a berma, pelo que se sugere que o lancil surja suavemente recuado em relação à guia delimitadora da faixa de rodagem, nos termos apresentados nas Figura 34 e Figura 35. A inclinação a conferir ao comprimento de transição depende da velocidade de base do ramo afluente. Recomenda-se a adopção de uma zona raiada, de comprimento mínimo de 25 metros, com inclinação de 1/50 ou de 1/20 conforme a velocidade seja inferior e igual ou superior a 60 km/h, respectivamente. Em vias locais urbanas de velocidade base inferior a 40 km/h, é aceitável a adopção de inclinações mais bruscas não devendo nunca serem superiores a 1/10. Por sua vez o passeio deverá surgir com uma inclinação próxima de 1/3.

A largura das bermas na rotunda e nos troços de aproximação não deve ser excessiva, na medida em que pode incitar à prática de estacionamento indevido. Assim em zonas rurais ou sub-urbanas, recomenda-se a adopção de bermas com 1,0 metro de largura, aceitando-se que em casos excepcionais possa ser reduzida para 0,5 metros. Em zonas urbanas e face a condicionamentos de espaço, aceita-se que, em rotundas menos importantes, a berma possa ser totalmente suprimida (Figura 35) circunstância em que a transição das bermas dos eixos confluentes se deverá fazer como indicado na correspondente figura.

4.16 INCLINAÇÕES LONGITUDINAIS

A implantação de rotundas em trainéis de inclinação muito acentuada traduz-se habitualmente em dificuldades de visibilidade e de operacionalidade, com as inerentes repercussões quer ao nível da segurança rodoviária quer da capacidade e operacionalidade da intersecção. Na realidade, a adopção de inclinações acentuadas, reverte-se numa maior propensão na ocorrência de acidentes por derrube associados a veículos pesados e por despiste de veículos ligeiros. Este tipo de soluções traduz-se ainda na geração de comportamentos inter-condutor extremamente heterogéneos, com velocidades e trajectórias distintas consoante o condutor circule no troço ascendente ou descendente do anel de circulação.

Os trainéis ascendentes associam-se habitualmente a condições deficientes de percepção potenciadoras de problemas de segurança e a dificuldades acrescidas no normal procedimento do processo do “para-arranca”. Caracterizam-se dessa forma pela geração de maiores intervalos inter-pelotões e consequentemente por menores níveis de capacidade.

Por sua vez os trainéis descendentes de acentuada inclinação, associam-se a maiores dificuldades de travagem (particularmente agravada no caso dos veículos pesados) e por um tendencial aumento de *recusas de cedência* do

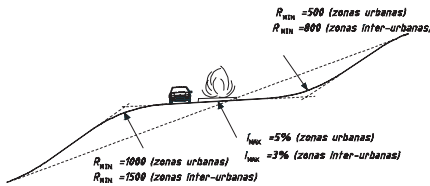


Figura 36 – Restabelecimento do perfil longitudinal para implantação da rotunda

direito de passagem junto à entrada, com potenciais consequências ao nível da segurança.

As rotundas devem assim ser preferencialmente implantadas em zonas planas e de boa visibilidade, embora seja igualmente admissível a sua adopção em trainéis de inclinação pouco acentuada, aceitando-se inclinações máximas de 3% em zonas interurbanas e de 5% em zonas urbanas. Face a trainéis de acentuada inclinação deverá procurar-se alterar o perfil longitudinal, de forma a garantir a implantação do prato num trainél de inclinação pouco acentuada, agravando-se, se necessário as inclinações dos ramos na aproximação (Figura 36).

Por questões de operacionalidade, o trainél do prato da rotunda deve, a partir dos seus extremos, ser prolongado para ambos os lados numa distância mínima igual ao valor da tangente da curva de concordância vertical determinada preferencialmente pela aplicação da Norma de Traçado da JAE (JAE,1994), assumindo-se que em zonas interurbanas a velocidade máxima na zona de entrada na rotunda é de cerca de 40km/h. Admite-se ainda que para curvas côncavas o raio da parabólica não deve ser inferior a 800 metros para zonas urbanas e a 1000 metros para zonas interurbanas aceitando-se que em situações excepcionais e justificáveis esses valores possam atingir os mínimos absolutos de 500 e 800 metros, respectivamente.

A sua implantação na sequência de curvas verticais convexas de raios reduzidos, passa por garantir boas condições de visibilidade e de inserção na rotunda. Para o efeito deve procurar-se garantir a execução de uma plataforma de aproximação à entrada com inclinação pouco acentuada e de comprimento idealmente igual à DP, aceitando-se como mínimo absoluto um comprimento igual à tangente da curva de concordância adoptada. Por razões de conforto, desaconselha-se a adopção de raios de concordâncias verticais inferiores a 1000 em zonas urbanas e a 1500 em zonas interurbanas.

A aplicação das regras anteriormente enumeradas no caso de trainéis de aproximação com 8% de inclinação longitudinal que concordam no prato caracterizado por um trainél com 3%, resulta, em zonas urbanas, na adopção de tangentes mínimas absolutas de 12,5 e de 25 metros para curvas côncavas e convexas e em meio inter-urbano em 20 e 37,5 metros, respectivamente.

Garantir as características de aderência pneu-pavimento, passa ainda por assegurar as devidas condições de drenagem superficial, impondo inclinações mínimas longitudinais de 0,5%.

4.17 SOBREELEVAÇÃO

Os valores e orientação a facultar à sobreelevação do anel de circulação, devem resultar da valorização conjunta, embora diferenciada, das necessidades de percepção da intersecção, de drenagem das águas superficiais e do conforto/segurança de condução.

As referências da especialidade apontam consensualmente para a adopção de inclinações transversais na ordem dos 2 a 2,5 % (assumindo revestimentos em betão betuminoso), podendo baixar até 1% no caso de pavimentos rígidos, ou sempre que se procure facilitar as transições com os ramos afluentes. No que respeita ao seu sentido da orientação, as referências não são totalmente consensuais.

A inclinação transversal orientada para o extradorso do anel tende a melhorar as condições de percepção da ilha central durante a aproximação, a facilitar as condições de drenagem superficial e a facilitar a compatibilização das transições com os ramos afluentes. Por sua vez, quando voltada para o intradorso, permite contrariar o efeito da força centrífuga, assegurando melhores níveis de conforto e de segurança de condução, sendo este efeito tanto mais importante quanto maior for a velocidade base ao projecto.

Face à diversidade de soluções propostas pelos manuais mais conceituados (Austroads, 1993; SETRA, 1984; DfT, 1993; FHWA, 2000), propõe-se a adopção de uma solução de compromisso, baseada na avaliação conjunta de princípios de segurança, de conforto e visibilidade e de facilidade construtiva, onde a orientação a facultar à inclinação transversal depende da dimensão geral e do número de vias a facultar à intersecção (ver Tabela 7), traduzidos através dos 3 seguintes princípios gerais:

- 1- A adopção de soluções de dimensão compacta (DCI<36/40 metros) associa-se normalmente a soluções com uma única via de circulação (eventualmente em situação limite a 2 vias de circulação) inseridas em locais onde operam velocidades de circulação moderadas (Vaprox < 50 km/h), como é o caso da sua aplicação em soluções integradas de acalmia de tráfego. Nestas circunstâncias, assume-se que os condutores estão na disposição de suportar os níveis de incomodidade relacionados com a aceleração centrífuga, pelo que se recomenda a adopção de uma solução do tipo “tronco-cónica” com orientação voltada para o extradorso;
- 2- Perante soluções de grande dimensão (DCI’s superiores a 36/40 metros) é expectável que as velocidades de atravessamento atinjam valores menos moderados (superiores a 50 km/h), justificando a adopção de medidas que contrariem o efeito da força centrífuga e que favoreçam a segurança e o conforto de condução. Assim, nestas soluções, e face a uma única via de circulação no anel, deve-se optar por inclinar a correspondente faixa de rodagem do anel para o intradorso;
- 3 - Face a soluções com múltiplas vias (normalmente de grande dimensão DCI>40m), a orientação para o intradorso poderá traduz-se numa redução significativa das cotas associadas à ilha central e, por consequência, em problemas acrescidos de visibilidade na aproximação. Nestas circunstâncias, e sempre que a rotunda disponibilize 3 vias de circulação considera-se indispensável optar-se por uma solução em telhado, onde as duas vias interiores devem ser orientadas para o intradorso e a via exterior para o extradorso. Perante soluções com duas vias, esta deverá igualmente constituir a solução base recomendável, embora se considere aceitável, que por razões construtivas se opte por orientar o anel numa só direcção consoante o exposto nos pontos anteriores.

Estas recomendações de base, estão especificadas na Tabela 7, em função da dimensão da rotunda e do número de vias de circulação, apontando-se para a solução habitualmente mais adequada e, sempre que se justifique, para soluções alternativas consideradas aceitáveis.

Tabela 7 - Orientação a facultar à inclinação transversal do anel de circulação

nº vias	1	2	3
DCI≤40	A (Ext) a (Δ) N (Int)	A (Δ; Ext) N (Int)	----
40<DCI≤60	A (Int) a (Δ) N (Ext)	A (Δ, Int) N (Ext)	A (Δ)(2 interiores para o intradorso e a exterior para o extradorso) a (Int) N (Ext)
DCI>60	-----	A (Int) a (Δ) N (Ext)	A (Δ)(2 interiores para o intradorso e a exterior para o extradorso) a (Int) N (Ext)

(N - Normalmente não adequado; a - adequada em alguns casos; A - Adequado na maioria dos casos)
(Ext -Extradorso; Int - Intradorso; Δ - em telhado; ---- solução a evitar)

4.18 ORDENAMENTOS ESPECÍFICOS

4.18.1 PEÕES

A forte presença do peão é muitas vezes apontada como uma séria limitação à aplicabilidade das rotundas.

Os circuitos pedonais aplicados junto às rotundas são habitualmente pouco atractivos, impondo contornos obrigatórios do anel de circulação e, por consequência, um aumento considerável dos percursos. Por razões de segurança e do desempenho das rotundas, deve-se evitar a localização das travessias pedonais junto à delimitação do anel, já que, qualquer paragem dos veículos poderá resultar no bloqueio geral da intersecção ou, no mínimo, na geração de conflitos na circulação no anel da rotunda. Pelas mesmas razões, mas por maioria de razão, e apesar de atractivos para os peões, também os atravessamentos directos do anel de circulação, por transposição da ilha central, são considerados inadmissíveis.

No caso dessa prática ter sido adquirida importa contrariar/impedir esta tendência, através da utilização de revestimentos incómodos à circulação pedonal (relva, arbustos, agregado solto, etc.), recorrendo, se necessário, à vedação física. Por oposição, importa apostar na atractividade dos circuitos formais, minimizando o mais possível a sua extensão e garantindo a sua continuidade e integração paisagística.

A tipologia da travessia a disponibilizar deve ser estabelecida em função da hierarquização funcional da via intersectada e, por consequência, em função do utilizador considerado prioritário. As soluções de nível mais comuns são as do tipo passagens para peões marcadas transversalmente por barras longitudinais paralelas ao eixo da via e alternadas por intervalos regulares (tipo M11 do Regulamento de Sinalização de Trânsito – RST) a qual se adapta à maioria das rotundas. Para minimizar as interferências no normal funcionamento da rotunda, as passeadeiras, que atribuem a prioridade formal ao peão, devem estar localizadas entre 10 e 15 metros da delimitação do anel. A disponibilização de um separador central ou de um ilhéu separador com dimensões adequadas, é contudo desejável, servindo como refúgio protector e viabilizando o atravessamento em duas fases.

Em vias 2x2, é igualmente admissível a adopção de passeadeiras pedonais de nível, excepto se integradas em vias onde não se consigam assegurar as devidas condições de segurança, podendo-se, nestes casos, recorrer quer ao desnivelamento quer a sistemas regulados por sinalização semafórica. Atendendo a que a exposição ao risco é neste tipo de perfis transversais consideravelmente acrescida, a adopção de passagens para peões, apenas se considera viável se implantados ilhéus separadores fisicamente materializados que viabilizem o atravessamento pedonal em duas fases.

Em perfis 2x3, o comprimento de exposição ao risco é consideravelmente acrescido, pelo que não se considera admissível a adopção de passeadeiras de nível com atribuição formal de prioridade ao peão. Nestas circunstâncias deverá ser avaliada a possibilidade de reencaminhamento dos circuitos pedonais para locais de atravessamento seguro, semaforização da travessia ou mesmo o seu desnivelamento.

O recurso a sistemas de controle semafórico ou mesmo o desnivelamento das travessias, poderá ainda, em qualquer caso, justificar-se em função das características e dos fluxos pedonais e dos veículos envolvidos, ou do peso relativo dos utilizadores mais vulneráveis, tais como crianças, idosos ou pessoas com dificuldades de mobilidade. Na presença de travessias semaforizadas, a sua programação deve procurar minimizar os efeitos dos atravessamentos pedonais na capacidade das entradas e na fluidez das saídas e, de uma maneira geral, nas demoras impostas aos veículos e peões. O funcionamento deverá ser preferencialmente por actuação permitindo o atravessamento por fases, devendo a travessia ser localizada e estudada de forma a evitar que a

paragem dos veículos provoque o bloqueio geral da rotunda ou que a presença dos semáforos possa ser erroneamente relacionada com o sistema de controlo das entradas na rotunda. Nestas circunstâncias e de modo a responder às necessidades de limpeza do sistema é recomendado afastar ligeiramente mais a travessia relativamente à delimitação do anel de circulação, apontando-se para distâncias mínimas de 20m. O recurso a travessias desfasadas torna-se igualmente viável, tornando-se neste caso indispensável a aplicação de vedações ou barreiras físicas.

Os desnivelamentos, pelos custos de investimento, pelo desconforto e insegurança pessoal que quase sempre envolvem, são apenas recomendáveis em circunstâncias excepcionais nomeadamente sempre que a função hierárquica da via intersectada o justifique, a orografia do terreno o facilite ou o volume e as características dos fluxos de peões e veículos envolvidos, o exija.

4.18.2 ORDENAMENTOS PARA CICLISTAS

O uso escasso da bicicleta, como modo de transporte individual, aliado à orografia acidentada da maioria dos centros urbanos portugueses, faz com que a segurança dos ciclistas na presença de uma rotunda, ainda não constitua uma preocupação reconhecida no nosso país. No entanto, as tendências seguidas pelos países ocidentais, assentes na sustentabilidade económica e ambiental, assim como nos benefícios que a sua prática regular assume na saúde individual e colectiva, ditam que, este modo de deslocação tenderá a assumir um peso cada vez mais significativo no teatro da mobilidade urbana. Importa assim apostar na adopção de medidas de incentivo ao seu uso sendo que, entre várias medidas possíveis, a adaptação da infraestrutura assume um papel central à segurança e, por consequência, à atractividade do sistema.

Na realidade os acidentes com ciclistas em rotundas são frequentemente evocados como uma das maiores debilidades deste tipo de intersecção (Bovy et al., 1991). No entanto as análises de sinistralidade desenvolvidas por diferentes entidades e países apontam para resultados bastante controversos, existindo mesmo um número considerável de estudos de segurança que assumem a rotunda como uma medida benéfica na defesa do ciclista e do peão (ver por exemplo FHWA, 2000).

De facto, a diferença de comportamentos e de velocidades que caracterizam este tipo de utilizadores face aos automobilistas, agravada pela sua pequena notoriedade traduz-se tendencialmente em recusas de cedência de prioridade, por parte dos veículos automóveis designadamente junto à entrada. Também as zonas da saída da rotunda constituem espaços particularmente conflituosos e onde a legislação, apesar da vulnerabilidade, não defende este tipo de utilizadores. Na realidade, a alínea c) do artº 31 e o n.º 4 do artº 32 do Código da Estrada estabelecem que os ciclistas que circulem numa rotunda, deixam de ser obrigados a ceder a passagem aos veículos a motor que nela pretendam entrar, não sendo, no entanto, nada definido em relação às saídas.

A resolução deste tipo de conflito passa habitualmente pela adopção de dois tipos de medidas: utilização de sinalização específica de pré-aviso e garantia dos diferentes critérios de visibilidade e, sobretudo pela segregação possível de infraestruturas, afectando-lhes corredores próprios. A tipologia de ordenamentos é vasta, centrando-se particularmente na criação de pistas para ciclistas por alargamento do anel de circulação ou pela sua integração em tratamentos paisagísticos atractivos e funcionais que circundam exteriormente a rotunda e encaminham os ciclistas, de uma forma natural e instintiva, para os atravessamentos pedonais (Figura 37).

Na ausência de infraestrutura própria, e face ao actual enquadramento legal, recomenda-se que em rotundas com tráfego rodoviário significativo o ciclista se comporte como peão, utilizando nomeadamente as passagens para peões como pontos de atravessamento.

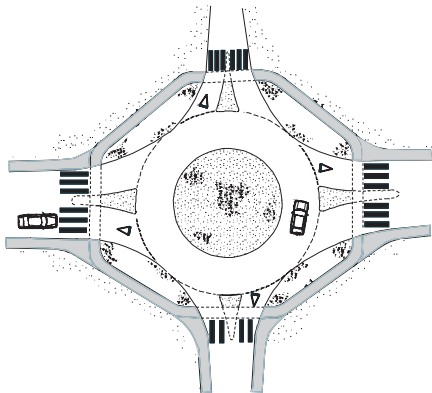


Figura 37 - Corredores segregados para duas rotas

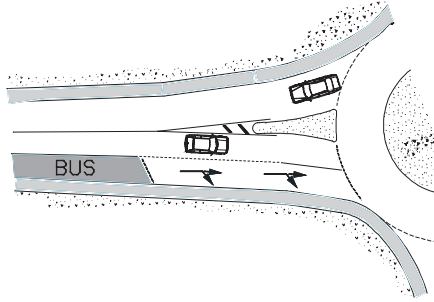


Figura 38 - Corredor BUS associado a uma via de entrada na rotunda

4.18.3 TRANSPORTES PÚBLICOS

A adopção de medidas de apoio ao transporte público, está cada vez mais em voga numa óptica integrada do planeamento dos transportes aplicada aos grandes centros urbanos.

As rotundas, por constituírem uma solução igualitária impõem uma obrigatoriedade de cedência do direito de passagem em todas as entradas, pelo que não permitem estabelecer facilmente movimentos ou utilizadores preferenciais. É contudo possível e recomendável a adopção de determinadas medidas complementares que, sem influenciarem de forma significativa a capacidade da entrada, podem resultar em soluções favoráveis aos transportes públicos.

É o exemplo da adopção de corredores BUS devidamente compatibilizados com a normal circulação do tráfego (Figura 38). A interrupção do corredor BUS nas proximidades da entrada na rotunda, permite a utilização conjunta do troço imediatamente anterior à linha de cedência de passagem, por parte dos transportes públicos e da circulação em geral (Figura 38), com aumentos significativos de capacidade da entrada e sem que tal imponha demoras significativas nos transportes públicos.

Também as paragens dos autocarros, por constituírem interfaces modais, devem ser devidamente integradas com os circuitos pedonais os quais, por sua vez, devem garantir uma lógica de continuidade. Nas proximidades de rotundas, essa localização deve resultar da ponderação entre os fluxos envolvidos, nomeadamente o tráfego de entrada e saída, da frequência das paragens e do espaço físico disponível. Por razões de segurança e de capacidade, são normalmente consideradas inadmissíveis as paragens dentro do anel de circulação, devendo as mesmas serem remetidas para os ramos afluentes. Devem situar-se preferencialmente junto às entradas, por constituírem troços onde o condutor aceita mais facilmente travar e permitir a reinserção do autocarro na corrente principal e onde o impacte negativo sobre o funcionamento global da rotunda é menor. Sempre que exista disponibilidade de espaço e tal seja integrado na lógica global de funcionamento da rotunda, a gare de paragem poderá ser prolongada até à linha de cedência de passagem, funcionando como uma via complementar de entrada.

Na presença de fluxos significativos de veículos ou de frequências elevadas dos transportes públicos, devem prever-se gares de paragem fisicamente segregadas da normal via de circulação, mediante a materialização de um ilhéu separador com dimensões a definir em função das exigências e funções que lhe são atribuídas (retenção de peões, sinalização, mobiliário urbano, etc.). A existência deste separador torna-se indispensável perante a existência de uma travessia pedonal, de forma a garantir o atravessamento dos peões, em diferentes fases.

4.18.4 ACESSOS DIRECTOS E ESTACIONAMENTO

O acesso directo a espaços adjacentes à rotunda a partir do anel de circulação deve, como regra geral, ser impedido, já que a geometria destes acessos é habitualmente deficiente, pondo em risco o funcionamento dessa saída e, consequentemente, o desempenho global da intersecção. Importa contudo ter presente a existência de possíveis excepções. É o caso de empreendimentos comerciais com algum significado, os quais e sempre que a geometria da rotunda o permita, poderão justificar a inclusão de um ramo afluente adicional. Nestes casos, importa ainda conceder cuidados especiais ao dimensionamento dos acessos e à capacidade dos parques de estacionamento, de forma a evitar que o ordenamento interior e o eventual subdimensionamento de lugares de estacionamento se possam repercutir no normal funcionamento da rotunda, através nomeadamente do prolongamento para o seu interior de eventuais filas de espera.

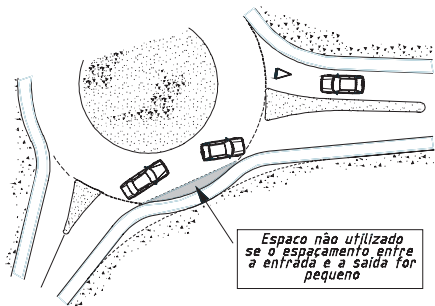


Figura 39 – Espaços não utilizáveis pela circulação

De acordo com o Código de Estrada, é proibida a prática de estacionamento nos cruzamentos. Também o estacionamento indevido nos acessos tende a obstruir a visibilidade e a impor reduções à faixa de rodagem, pelo que por razões de segurança, de fluidez e capacidade, a sua proibição deve ser prolongada ao longo da entrada e aproximação, respeitando os critérios de visibilidade enumerados em 4.8. A adopção de concepções geométricas que imponham restrições físicas ou evidenciem a prática de estacionamento em transgressão pode tornar-se bastante eficaz. O dimensionamento geométrico, deve assim ser acompanhado de um esforço no sentido de adopção de geometrias compactas, evitando-se a adopção de sobrelarguras desnecessárias no anel, ou a adopção de bermas largas junto aos passeios ou ilhéus separadores. É ainda de evitar, a adopção de arranjos geométricos que promovam a criação de bolsas habitualmente não utilizadas pela circulação dos veículos, muitas das vezes facilmente elimináveis por recurso a ligeiros ajustes dos raios de entrada e de saída (Figura 39).

4.18.5 INTEGRAÇÃO PAISAGÍSTICA E TRATAMENTO DA ILHA CENTRAL

As rotundas têm, ao longo do tempo, vindo a revelar-se como locais privilegiados para a integração de tratamentos paisagísticos que evidenciam, na sua ilha central, grandes monumentos ou elementos ornamentais, resultando em soluções esteticamente interessantes e de grande notoriedade, mas por vezes, problemáticas do ponto de vista da segurança rodoviária. Verifica-se com alguma frequência a adopção de soluções ornamentais que incluem equipamentos que, pela sua dimensão e rigidez (estátuas, fontes, árvores, rochas ou qualquer tipo de dispositivo rígido ornamental), constituem obstáculos físicos capazes de agravar consideravelmente as consequências de eventuais embates frontais em resultado de despistes e consequente invasão da ilha central.

Importa, contudo, perceber que os arranjos paisagísticos da ilha central quando devidamente concebidos podem contribuir significativamente para marcar a presença da rotunda, funcionando como elementos de quebra visual capazes de alertar o condutor, durante a aproximação, para a presença da rotunda. Para isso, o tratamento paisagístico a adoptar não deverá interferir com o normal funcionamento e segurança de circulação, considerando-se adequado sempre que:

- Favoreça a percepção longínqua da intersecção e enfatize a ruptura do itinerário e com isso induza o condutor a uma alteração atempada do comportamento;
- Não interfira com as adequadas condições de visibilidade apresentadas anteriormente;
- Não introduza elementos rígidos/obstáculos na ilha central, no encaminhamento das entradas;
- Apoie a canalização dos movimentos através de um encaminhamento adequado do condutor na inserção no anel de circulação;
- Melhore o conforto físico e psíquico dos diferentes utilizadores, particularmente os peões e ciclistas;
- Não introduza elementos de distracção muito marcados, em particular painéis publicitários que funcionem como focos de atenção.

Estes objectivos, passam em grande medida, por assegurar um ordenamento paisagístico adequado da ilha central, da envolvente ao anel de circulação e às vias de aproximação. Estes aspectos assumem uma relevância acrescida perante ambientes rodoviários interurbanos e/ou em rotundas localizadas na sequência de ramos onde se preveja a prática de velocidades elevadas, designadamente as inseridas na rede estruturante urbana.

Em termos de ilha central, a modelação do terreno no interior da ilha central tem-se revelado extremamente benéfica na quebra da continuidade do itine-

rário, devendo, em todo o caso, serem salvaguardados os critérios de visibilidade dentro do anel.

Tais requisitos passam por evitar a implantação de obstáculos rígidos na ilha central, particularmente nos espaços correspondentes ao encaminhamento das diferentes entradas, onde se potencia a sua invasão por parte de veículos desgovernados. Exceptuam-se as soluções com ilhas centrais de grandes dimensões ($R_i > 10\text{ m}$), onde a localização deste tipo de ornamentos possa não constituir obstáculos directos em caso de acidente.

Alternativamente, deve enveredar-se pela adopção de elementos decorativos menos agressivos, tais como arranjos paisagísticos que integrem plantas, arbustos e/ou material granular que no seu conjunto possam contribuir para amortecer a energia cinética do veículo e, por consequência, a violência de eventuais choques frontais.

Também a modelação do terreno no interior da ilha central tem-se revelado benéfica na quebra da continuidade do itinerário, contribuindo para a identificação e percepção da singularidade da infra-estrutura. Segundo SETRA (1998) e FHWA (2000), essa modelação não poderá interferir com os níveis mínimos de visibilidade devendo, em qualquer caso, assumir inclinações longitudinais inferiores a 15% (sejam elevações ou depressões).

Ainda a adopção de áreas arrelvadas, arbustos ou de outras espécies vegetais de pequeno porte se pode revelar favorável à percepção e identificação da intersecção, por parte do condutor, embora, e mais uma vez, a sua configuração e localização deva salvaguardar os níveis mínimos de visibilidade. Tais requisitos passam geralmente por eliminar a localização de obstáculos que perturbem a visibilidade do condutor numa faixa exterior à ilha central, cuja largura deve resultar da aplicação dos critérios apresentados no ponto 4.8, com um mínimo de 2 metros de largura.

Considera-se ainda inapropriada a adopção de contornos físicos da ilha central constituída por lancis rectos elevados, por muros ou muretes que possam impedir ou dificultar a invasão da ilha central face a um despiste do veículo, aumentando assim a gravidade do acidente. A ilha central deve ser delimitada por lancil do tipo galgável de forma a minimizar o impacto dos despistes e invasão frontal da ilha central e garantir a transposição do lancil por parte de veículos de dimensões excepcionais ou mesmo para facilitar a execução de manobras de viragem por parte de condutores de agilidade condicionada. Revela-se ainda particularmente favorável incorporar uma faixa de material granular a delimitar exteriormente a ilha central, sendo que esta faixa permite por um lado, contribuir para a quebra da energia cinética do veículo em caso de despiste e, por outro lado, absorver eventuais escoamentos de águas resultantes do sistema de rega, evitando que a mesma atinja o anel de circulação.

No caso das mini-rotundas materializadas, não se considera adequada a adopção de qualquer tratamento paisagístico na ilha central, nem tão pouco a colocação de qualquer sinal ou mobiliário urbano.

Ao nível dos ramos de aproximação, deve ser condicionada a adopção de dispositivos verticais lineares (árvores, candeeiros, pórticos, etc.), que no seu conjunto possam provocar uma sensação errónea de continuidade do itinerário. Deve porém apostar-se na adopção de elementos (árvores, candeeiros, etc.) que contornem a extremidade do anel de circulação e com isso evidenciem a forma geométrica da intersecção e contribuam para a sua fácil identificação.

4.18.6 ILUMINAÇÃO PÚBLICA E SEGURANÇA NOCTURNA

É consensualmente aceite que os índices de sinistralidade relacionados nomeadamente com o número de acidentes por invasão da ilha central ou perda do controlo do veículo no anel sofrem um aumento em condições nocturnas.

A adopção de iluminação pública em todo o tipo de rotundas, assume assim um papel preponderante na diminuição da sinistralidade nocturna, particularmente em rotundas sujeitas a intensos fluxos de circulação. Por essa razão a maioria dos manuais consideram a iluminação pública como uma medida de segurança obrigatória (DfT, 1993; FHWA, 2000). Uma das poucas excepções é o actual manual Francês (SETRA, 1998) para zonas interurbanas, o qual considera a iluminação da intersecção como dispensável, sempre que a rotunda se localize em meio inter-urbano e onde o prolongamento do sistema de iluminação pública se revele particularmente difícil ou oneroso.

Uma boa disposição do sistema de iluminação passa por assegurar os indispensáveis “índices de iluminação nocturna”, relacionados essencialmente com a percepção da descontinuidade a partir da aproximação à intersecção e a visibilidade do anel de circulação e dos veículos que nele circulam. As necessidades relacionadas com a iluminação pública devem assim variar consoante o local onde se insere a intersecção.

Em meios urbanos e peri-urbanos a iluminação deve ser prevista na generalidade dos casos, na medida em que:

- a maior parte, ou a totalidade dos ramos afluentes são providos de iluminação pública;
- a iluminação de espaços adjacentes/próximos da intersecção pode originar distúrbios/distracção momentânea na capacidade de visão do condutor;
- a iluminação revela-se essencial para a melhoria da visibilidade dos utentes mais vulneráveis, nomeadamente peões e ciclistas.

Em meios interurbanos a iluminação pública é considerada francamente recomendável, embora não obrigatória. Caso não exista uma fonte de alimentação nas proximidades da intersecção, a sua execução pode revelar-se extremamente onerosa (FHWA, 2000; SETRA, 1998) quer em termos de investimento quer de manutenção e consumo de energia. Nestas circunstâncias, importará adoptar medidas complementares, recorrendo nomeadamente a dispositivos de iluminação auto-recarregáveis (por energia solar) ou a outro tipo de medidas que evidenciem a presença da rotunda e que permitam aumentar a sua visibilidade e segurança nocturna:

- Utilização de materiais de cores claras e retrorreflectoras que durante a aproximação evidenciem a presença da ilha central tal como guias e dispositivos reflectores ou luminosos;
- Colocação de sinalização vertical de pré-aviso retrorreflectora eventualmente associada a dispositivos de iluminação (sistema solar) que garantam a sua perfeita visibilidade nocturna. Recorrer a níveis de rectrorreflexão superiores ao adoptado nos ramos de aproximação. Identificar os ilhéus separadores com dispositivos luminosos ou por aplicação de guias;
- Marcação das bermas ou passeios com guias delimitadoras retrorreflectoras.

Contudo, e tal como já referido para as zonas urbanas e peri-urbanas, considera-se que a iluminação da rotunda é indispensável sempre que existam zonas iluminadas na sua proximidade, pelo menos um dos ramos seja provido de iluminação pública, ou sempre que as condições de inserção da rotunda não garantam os adequados níveis de visibilidade.

Considera-se ainda que o sistema de iluminação da rotunda deve ser prolongado pelos ramos de aproximação, garantindo preferencialmente a sua continuidade, sempre que existam outros troços iluminados a montante ou jusante da intersecção (FHWA, 2000).

Se a intersecção se localiza em zonas rurais e escuras, devem ainda ser criadas zonas de transição através do prolongamento da iluminação num comprimento mínimo de 100 metros, preferencialmente de 150 metros, ou até ser atingida uma zona rectilínea. Estas regras procuram garantir a adaptação

visual do condutor à luminância ambiente já que ao passar de uma zona iluminada para uma escura, o seu desempenho visual é temporariamente diminuído, sendo portanto relevante que o ordenamento geométrico garanta que essa adaptação se efectue numa zona recta e liberta de obstáculos. A melhoria da visibilidade nocturna passa ainda por salvaguardar, na rotunda, intensidades de iluminação superiores às adoptadas nos ramos de aproximação. As normas americanas (FHWA, 2000) recomendam que a intensidade na rotunda seja, no mínimo, igual à soma das intensidades adoptadas nas vias intersectadas, apontando-se para valores compreendidos entre os 9 (intersecção entre 2 vias locais ou residenciais) e os 36/40 lux (intersecção entre 2 vias colectoras, zonas comerciais, etc.).

Em termos de regras de aplicação refira-se que a localização dos postes de iluminação pública não poderá criar obstáculos físicos capazes de agravar embates na sequência de eventuais perdas de controlo. Esta contingência justifica a não colocação de dispositivos rígidos nos extremos imediatos da faixa de rodagem ou do fim das bermas (sempre que existam) nem dos ilhéus separadores. Recomenda-se assim um recuo mínimo de 0,50 metros em relação à delimitação do lancil ou do fim da berma, devendo em todo o caso e, em particular, em zonas urbanas de grande tráfego pedonal, procurar-se maximizar a largura útil do passeio, através da colocação dos postes de iluminação na extremidade oposta da faixa de rodagem ou mesmo suspensas em muros ou outros elementos eventualmente existentes.

Menard (1992) defende ainda que, em consonância com os princípios já enunciados, à excepção de rotundas de grandes dimensões, não se deve proceder à instalação de dispositivos de iluminação na ilha central, recomendando a sua colocação no bordo exterior do passeio que circunda o anel de circulação (ver Figura 40). Tal disposição minimiza a gravidade dos embates por parte dos veículos com perda de controlo junto à entrada e favorece a percepção da forma circular aliada à intersecção. Nesta linha de orientação, são recomendadas duas disposições possíveis para os postes de iluminação. Uma dessas disposições passa por colocar postes ao longo do alinhamento de aproximação à entrada, prolongando essa colocação ao longo da saída consecutiva (tal como apresentado na Figura 40). Esta disposição ao impor uma quebra ao alinhamento enfatiza o efeito circular associado à rotunda. Em alternativa, é igualmente defensável que o sistema, por razões de segurança, procure aumentar os níveis de visibilidade nocturna, nas correspondentes entradas. Em termos práticos esta solução passa por considerar que os postes de iluminação devem dispor-se do lado direito da faixa de rodagem, ao longo dos troços de aproximação, prolongando o sistema até ao anel da rotunda.

Caso este tipo de disposição se revele inviável, a colocação de um poste central na ilha central poderá ser equacionada desde que o diâmetro da ilha seja superior a 20 metros (SETRA, 1998; FHWA, 2000). Deve ser igualmente evitada a colocação de um poste central perante diâmetros superiores a 40 metros já que a dimensão da intersecção exigiria a adopção de postes muito altos e a disponibilização de potências extremamente exigentes (SETRA, 1998).

A iluminação especial das travessias pedonais tem-se revelado igualmente favorável na defesa da segurança pedonal. É possível encontrar actualmente diversas soluções disponíveis no mercado e que passam pelo aumento da intensidade de iluminação na travessia face aos espaços envolventes, podendo esse grau de luminosidade ser permanente ou activado pelo peão no momento do atravessamento.

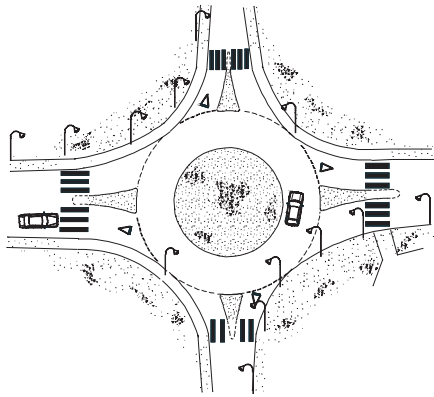


Figura 40 - Iluminação pública

5. SINALIZAÇÃO

Apesar do desempenho e a segurança de cada rotunda depender, em grande parte, da sua adequada concepção geométrica, outros aspectos complementares, tais como a sinalização contribuem igualmente de forma significativa para o seu bom funcionamento.

Assume, assim, particular relevância especificar esquemas normalizados de sinalização vertical, marcação rodoviária e de orientação aplicáveis a rotundas facilmente compreendidos pelos condutores e concordantes com as suas expectativas naturais e sobretudo que tratem com soluções iguais, situações infra-estruturais semelhantes. A sua correcta sinalização, respeitando as normas e legislação de base existentes contribuem ainda para que a rotunda seja rapidamente reconhecida como tal.

Neste capítulo procura-se assim apresentar, de uma forma sintética, alguns aspectos relevantes relativos à sinalização vertical, marcação rodoviária e equipamento de guiamento e balizagem, definidas tendo por base o documento “Sinalização de Rotundas” (Almeida Roque, 2004). Apresentam-se esquemas integrados de sinalização de forma geral concordantes com a lei vigente, nomeadamente com o Regulamento de Sinalização de Trânsito (RST) (Decreto-Regulamentar n.º 22-A/98), com o Código da Estrada (CE) e com as demais Normas aplicáveis.

5.1 SINALIZAÇÃO HORIZONTAL

A sinalização horizontal destina-se fundamentalmente a orientar e canalizar o tráfego ao longo dos circuitos, embora possa assumir igualmente funções de regulação (MR), advertência (MA) e orientação (MO). Dada a falta de familiarização dos condutores portugueses com o funcionamento das rotundas com múltiplas vias de circulação, a utilização das marcas rodoviárias é fortemente recomendada.

A marcação rodoviária aplicada às rotundas inclui linhas longitudinais separadoras de sentidos ou delimitadoras de vias, marcas transversais (linhas de cedência de passagem, travessias pedonais e a correspondente linha de paragem), símbolos (triângulos de cedência de prioridade e eventualmente setas de selecção), outras marcas (raias oblíquas, inscrições e, por vezes, bandas cromáticas) e guias.

A Norma de Marcas Rodoviárias da JAE (JAE, 1995) define as relações traço/ espaço e larguras de traço para aplicação em marcações longitudinais adequadas a cada caso, de modo a garantir não só a homogeneidade em toda rede mas também a adaptabilidade à velocidade considerada em cada caso. A Tabela 8, apresenta de forma resumida uma compilação do tipo de linhas utilizáveis.

Tabela 8 - Dimensões das marcas rodoviárias (m) - fonte Almeida Roque, 2004_a; JAE (1995)

Velocidades	Designação		90 km/h - 110 km/h (Vias Reservadas)			60 km/h - 90 km/h (Restantes estradas rurais e estradas urbanas)			40 km/h - 60 km/h (Restantes estradas e arruamentos urbanos)		
	RST	Projecto	Largura	Traço	Espaço	Largura	Traço	Espaço	Largura	Traço	Espaço
Linhas											
Guias		G	0.15			0.15			0.12		
Linha contínua	M1	LBC	0.12	-	-	0.12	-	-	0.10	-	-
Linha descontínua	M2	LBT	0.12	4.0	10.0	0.12	4.0	10.0	0.10	2.0 / 3.0	5.0* / 4.0**
Linha de aviso	M4	LBTa	0.12	5.0	2.0	0.12	5.0	2.0	0.10	2.5	1.0
Linha mista	M3	LBM	0.12	4.0	10.0	0.12	4.0	10.0	0.10	2.0 / 3.0	5.0* / 4.0**
Linha mista de aviso	M3	LBMa	0.12	5.0	2.0	0.12	5.0	2.0	0.10	2.5	1.0
Linha de sentido reversível	M5	LBTd	2 x 0.12 ***	5.0	2.0	2 x 0.12 ***	5.0	2.0	2 x 0.10 ***	2.5	1.0
Linha de abrandamento	M6	LBTg	0.25	1.5	2.0	0.20	1.5	2.0	0.20	1.5	2.0
Linha de aceleração	M6a	LBTg	0.25	1.5	2.0	0.20	1.5	2.0	0.20	1.5	2.0
Linha de entrecruzamento	-	LBTg	0.25	1.5	2.0	0.20	1.5	2.0	0.20	1.5	2.0
Linha contínua na sequência de LBTg	M1	LBC	0.25	-	-	0.20	-	-	0.20	-	-
Linha de corredor de circulação	M7a	LBT	0.25	1.5	2.0	0.20	1.5	2.0	0.20	1.5	2.0
Linha de via de lentos (percurso)	-	LBT	0.25	5.0	2.0	0.20	5.0	2.0	0.20	2.5	1.0
Linha de via de lentos (entrada e saída)	-	LBT	0.30	1.5	2.0	0.25	1.5	2.0	0.25	1.5	2.0
Linha de cedência de passagem	M9 e M9a	LBT	0.3	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3

* restantes estradas

** arruamentos urbanos

*** afastadas, no mínimo, de 0.10 m

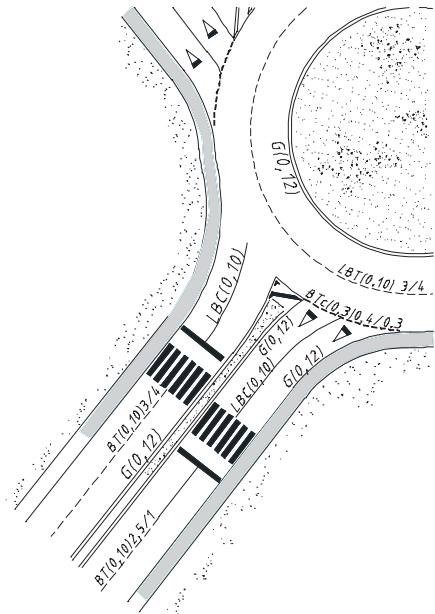


Figura 41 - Sinalização horizontal - tipo de linhas

5.1.1 JUNTO À ENTRADA E SAÍDA

Todas as entradas em complemento à sinalização vertical da rotunda, devem ser providas de uma *linha transversal de cedência de passagem* (M9 do RST; LBTc nomenclatura de projecto) com relação traço/espço de 0,4/0,3 e 0,3 metros de largura⁸ definindo o local para uma eventual paragem. Como regra de base esta linha deve estar preferencialmente associada à utilização de símbolos triangulares marcados no pavimento (M9a do RST) podendo dispensar-se a sua aplicação em entradas onde as condições locais não o permitam, ou justifiquem. Essa linha deve ser pintada transversalmente em relação a cada entrada e de uma forma sensivelmente paralela à delimitação do anel de circulação, definindo o local para uma eventual paragem o que, na presença de múltiplos veículos junto à entrada, permite que os localizados à esquerda não obstruam a visibilidade dos situados à direita (ver Figura 41).

A tipologia das linhas a utilizar na aproximação à entrada deve procurar preservar a homogeneidade da sinalização na rede e adaptar-se à velocidade de operação considerada para os ramos afluentes tal como apresentado na Tabela 8.

Perante uma única faixa de rodagem com uma via em cada sentido, deverá existir a montante da entrada e antes do ilhéu separador, uma linha contínua (M1 do RST; LBC nomenclatura de projecto) de comprimento a definir em função das condições locais e que será, se não existirem outros condicionamentos, nomeadamente de visibilidade, a correspondente à distância percorrida por um veículo durante um segundo à velocidade considerada. Essa linha deve ser precedida por uma linha descontínua de aviso (M4 do RST; LBTa nomenclatura de projecto) associada a setas de desvio (do tipo 2) e cujo comprimento e relação traço/espço e largura é determinada em função da velocidade de tráfego na via correspondente (ver Tabela 8, Tabela 9 e Figura 42).

Tabela 9 - Características da linha de aviso (LBTa)

Velocidade (km/h)	V ₈₅	Comprimento da linha (m)	Espaçamento entre setas de desvio tipo 2	
			da 2ª à 3ª seta	da 2ª à 3ª seta
40-50		42	28	---
60-70		84	28	42
80-90		126	42	56
100		168	56	70
110		210	70	84
120		252	84	98

Essa linha é ainda antecedida por uma linha axial descontínua a definir com base na Tabela 8 e que se prolonga até à próxima descontinuidade. Em ambiente urbano, é normalmente dispensado o recurso a setas de desvio, dispensando-se ainda a linha de aviso perante acessos locais.

Na presença de leques e, por consequência, de vias adicionais de entrada, a distribuição lateral adequada do tráfego e o desempenho da entrada, depende da delimitação correcta das diferentes vias de entrada disponibilizadas. Deve-se para tal, recorrer a linhas contínuas (LBC) associadas, sempre que o comprimento o justifique, a linhas descontínuas de aviso (LBTa). Para o efeito, a criação de vias de entrada adicionais, deve ser formalmente assegurada a partir da secção da via onde se consiga disponibilizar uma largura mínima de 5,0 metros, subdividindo-a em duas vias de 2,5 metros, aceitando-se em zonas urbanas a criação da via adicional possa ser materializada a partir da

8 Em nomenclatura habitual de projecto a Linha Branca Tracejada (LBT) com a relação traço 0,4/0,3 e 0,3 de largura é representada como LBT (0,3) 0,4/0,3.

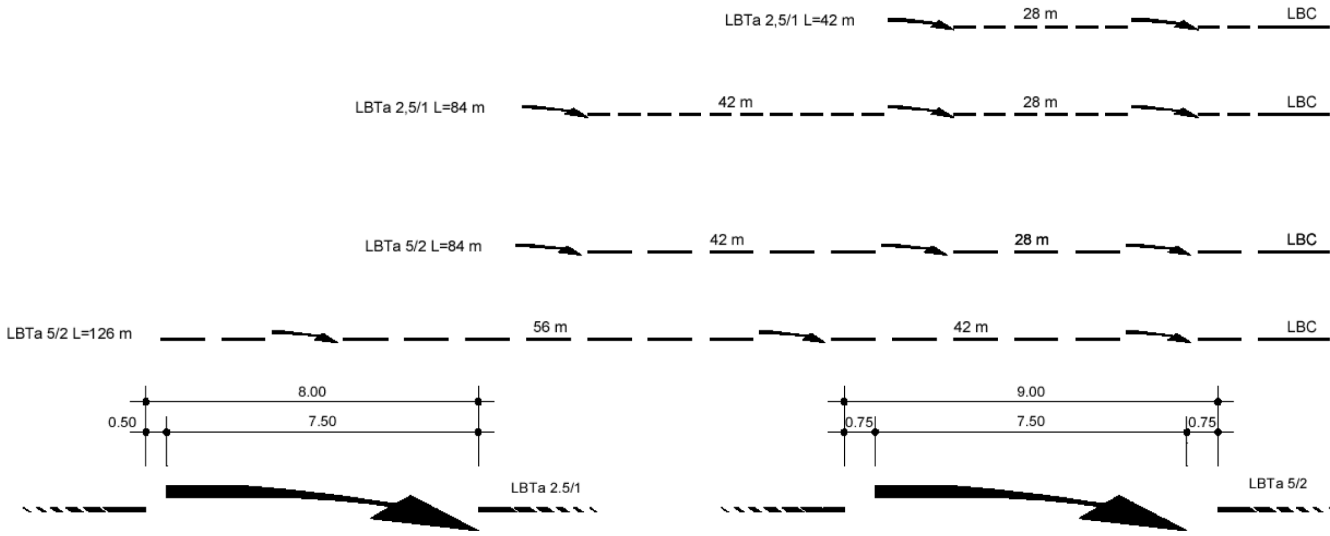


Figura 42 - Linha de aviso associada a setas de desvio (fonte, Almeida Roque, 2004)

secção com 4 metros - vias com 2 metros (DfT, 1993). Por razões operacionais importa, no entanto, assegurar a disponibilização de uma largura mínima de 3,0 metros junto à linha de cedência de passagem, aceitando-se que em zonas urbanas com problemas de capacidade e perante uma presença baixa de veículos pesados essa largura possa baixar a um mínimo absoluto de 2,5 metros.

A utilização de setas de selecção tradicionais, na aproximação da entrada não deve, à partida, ser utilizada em rotundas, na medida em que pode levar à confusão com um entroncamento ou cruzamento (Almeida Roque, 2004). A sua adopção pode ainda induzir erroneamente alguns condutores menos habituais, a virarem à esquerda ao nível da entrada, inserindo-se no anel em sentido contrário à da circulação. Assim as setas de selecção só devem ser utilizadas nas entradas das rotundas quando o número de vias e de destinos a que permitem aceder exija a selecção prévia dos utentes por via, devendo esses destinos serem identificados por inscrições no pavimento associadas às setas correspondentes. São ainda aplicáveis em soluções onde exista uma via segregada para viragem à direita limitando-se as setas de selecção a assinalar essa viragem.

Relativamente à saída, refira-se que esta deve ser preferencialmente isenta de qualquer marcação que a delimita do anel (ver Figura 41 e Figura 43). Por sua vez a definição das diferentes vias de saída, revela-se determinante ao bom funcionamento da rotunda, devendo prever-se a sua marcação, com início junto à delimitação do anel de circulação. Essa definição deve ser feita recorrendo à mesma linha descontínua (M2) utilizada na aproximação à entrada (que precede a linha de aviso - M4) embora a definição de múltiplas vias só se justifique em saídas com largura superior a 6,0 metros, e desde que a via adicional se desenvolva num comprimento superior a 40 metros.

A utilização de guias (M19 do RST) na delimitação da faixa de rodagem revela-se igualmente útil no encaminhamento dos condutores sendo a sua largura definida em função da velocidade. Em zona interurbana as guias são utilizadas, para além da secção corrente, nos ramos afluentes, contornando os ilhéus separadores, dando continuidade às linhas contínuas delimitadoras de raias oblíquas (ver Figura 43), bem como nos limites interior e exterior da faixa de circulação do anel. Em zona urbana (com materialização de passeios), as guias não são em geral utilizadas podendo, conforme a geometria das entradas e saídas, contornar os ilhéus separadores.

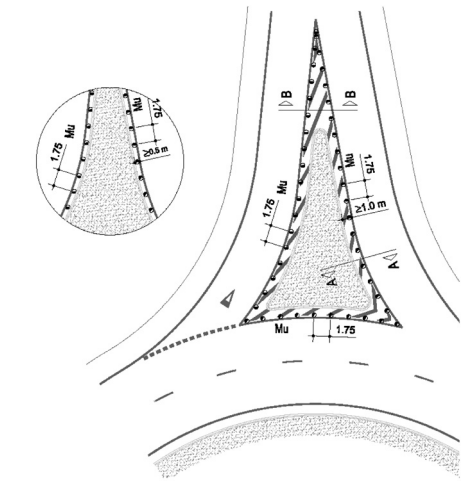


Figura 43 - Ilhéu separador, guias e marcadores (fonte Almeida Roque, 2004)

Quando aplicadas no contorno de separadores, as guias devem localizar-se, no mínimo a 0,5 metros do lancil ou a 1,0 metro sempre que associadas a raiais oblíquas (ver Figura 43).

A adopção complementar de raiais oblíquas, na sequência e envolvimento dos ilhéus separadores de sentidos, delimitadas por linhas contínuas e associadas a marcadores retrorreflectores aplicados no pavimento, podem tornar-se igualmente úteis na identificação da intersecção e no encaminhamento nocturno dos condutores, nomeadamente perante condições de visibilidade reduzida.

As passagens para peões com atribuição de prioridade formal ao peão, ou as passagens para ciclistas devem localizar-se, tal como visto anteriormente, nos ramos de acesso e a cerca de 10/15 metros, não sendo admissível a sua marcação radial ao anel de circulação. As passagens para peões devem ser marcadas transversalmente por barras longitudinais paralelas ao eixo da via, alternadas por intervalos regulares (tipo M11 do RST), e serem precedidas, a uma distância de 1,5 a 2 metros, por uma linha de paragem (tipo M8 do RST), como medida de protecção ao peão (ver Figura 41).

5.1.2 ANEL DE CIRCULAÇÃO

As marcas a colocar no anel de circulação têm sido objecto de alargadas investigações, dando ainda lugar a alguma controvérsia e falta de consistência em termos de bibliografia estrangeira.

Os condutores que acedem à rotunda através da via mais à esquerda terão necessariamente de mudar de via para poderem abandonar o anel de circulação. Este tipo de manobras está na base de entrecruzamentos sucessivos no anel e na geração de problemas legais sobre qual a prioridade relativa entre veículos.

As normas australianas (Austroads, 1993) recomendam que a delimitação das vias do anel seja confinada às zonas de influência dos ilhéus separadores, defendendo que a garantia de legibilidade das zonas de entrecruzamento passa pela supressão de todo o tipo de marcação. Já a norma francesa (SETRA, 1984), fortemente baseada em critérios de segurança e amenidade de circulação e, por sua vez, em geometrias de dimensões compactas com uma única via de circulação no anel, recomenda a adopção de marcas longitudinais concêntricas, ao longo de todo o anel.

As normas inglesas (DfT, 1997) aceitam, por sua vez, a aplicação de qualquer um destes tipos de marcação, considerando que cada um apresenta diferentes desempenhos em função das características operacionais e da geometria da rotunda.

Apesar de não existirem ainda resultados concretos, parece indubitável que a marcação das vias de circulação no anel tem efeitos positivos na operacionalidade e desempenho geral da rotunda. Parece também que a definição de prioridades relativas entre veículos dentro do anel de circulação não deverá passar pela utilização concreta de um determinado tipo de marcas, mas sim pela definição criteriosa de procedimentos e regras de comportamento e pelo seu devido enquadramento legal, nomeadamente ao nível do Código da Estrada.

Nessa perspectiva, propõe-se que a delimitação das vias de circulação no anel se materialize através de marcas longitudinais concêntricas à ilha central (ver Figura 44). Em regra trata-se de circunferências completas com relação traço/espço a definir por forma a salvaguardar a homogeneidade das soluções adoptadas na rede envolvente e em função das velocidades consideradas em cada ramo afluente, sendo que perante diferentes valores de velocidades, a sinalização do anel deve ser balizada superiormente pelo ramo sujeito à velocidade mais elevada.

Em zona interurbana, deverão ainda ser utilizadas guias na delimitação dos limites interior e exterior da faixa de circulação do anel. Em zona urbana (com materialização de passeios), as guias não são em geral utilizadas podendo apli-

car-se junto à ilha central, sendo francamente recomendável a sua utilização nas rotundas de entrada de povoação. Também a largura da guia deverá ser definida com base na velocidade do ramo mais exigente.

Normalmente não é admissível a afectação de vias no anel a qualquer movimento direccional, pelo que não devem ser utilizadas setas de selecção no seu interior. Exceptuam-se as soluções de grandes dimensões que disponibilizem comprimentos de entrecruzamento bastante longos ou rotundas parcialmente semaforizadas. Outra excepção são as setas de mini-rotunda, que apesar de não fazerem parte do RST, se considera serem de utilização tecnicamente correcta, já que permite enfatizar a presença da ilha central e a necessidade desta ser contornada.

5.1.3 MARCAS ESPECIAIS DURANTE A APROXIMAÇÃO

As bandas cromáticas são linhas transversais que abrangem uma ou várias vias, no sentido do trânsito a que dizem respeito e são frequentemente encaradas como uma técnica de acalmia de tráfego já que o efeito visual e sonoro provocado pela cadência de impacto dos pneus nesses dispositivos, procura alertar o condutor para a necessidade de moderar a velocidade de circulação.

Embora de uso frequente, é possível identificar vários estudos científicos que põem em causa a sua eficácia (Ribeiro, 1996; Jarvis and Jordan, 1990). Face a estes resultados e ao seu custo de colocação e manutenção, a sua utilização deve ser limitada a circunstâncias excepcionais, tais como as enumeradas em 4.13.

De acordo com a Norma de “Marcas Rodoviárias” (JAE, 1995) as bandas cromáticas são linhas transversais, executadas em conjuntos de duas unidades paralelas entre si, de cor branca, com espaçamentos degressivos (Tabela 10), definidos para o percentil 85 da distribuição das velocidades (V_{85}) considerado da ordem dos 80-90km/h. Devem ter largura de 0,5 metros, afastadas de 0,30 metros uma da outra, e ser colocadas a 0,20 metros das guias, passeios ou linhas axiais (ver Figura 45).

Estas bandas podem ser utilizadas no sentido de aproximação à rotunda, com a sequência de espaçamentos adequada à situação de cedência de passagem ou à situação de paragem quando associada a travessias pedonais (ver Tabela 10).

Tabela 10 - Características da linha de aviso (LBTa)

ESPAÇAMENTO ENTRE BARRAS (m)	
Para situações de paragem 18-16-14-12-10-8-6-4-4-4-4	Para cedências de passagem 14-13-12-11-10-9-8-7-6-6-6

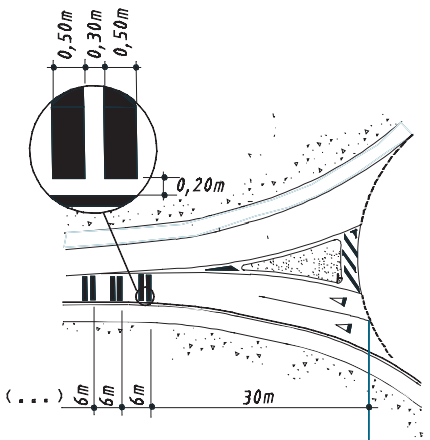


Figura 45 - Bandas cromáticas

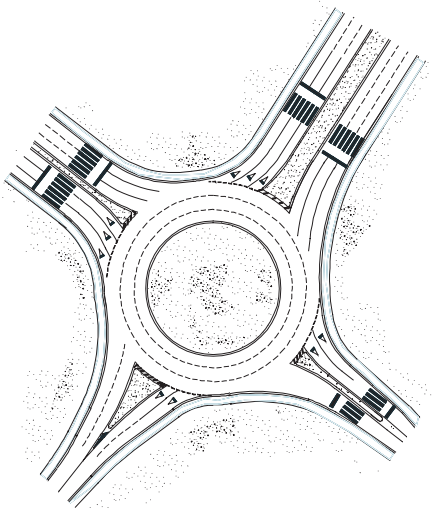


Figura 44 - Marcações rodoviárias - exemplo de aplicação

5.2 SINALIZAÇÃO VERTICAL DE REGULAMENTAÇÃO

O sistema de sinalização vertical a colocar na presença de uma rotunda deve compreender sinais de perigo, de regulamentação e de orientação.

Segundo a alínea q) do artº 1 do CE, uma rotunda só o é no sentido legal quando sinalizada como tal, o que implica a existência do sinal de aproximação de rotunda (sinal do tipo B7 do RST) colocado preferencialmente a uma distância compreendida entre os 150 e os 300 metros da entrada e o sinal de rotunda (sinal tipo D4 do RST) colocado na proximidade imediata da entrada ou a uma distância conveniente do local onde a obrigação é imposta (Figura 46).

Apesar da alínea c) do n.º 1 do artº 31 do Código da Estrada especificar que “deve ceder a passagem o condutor que entre numa rotunda com trânsito giratório”, e também pelo facto desta regra não ser universal, considera-se que este princípio deve ser reforçado pela presença do sinal B1 (“cedência de passagem”) acoplado ao sinal D4, a serem colocados na entrada de cada ramo. Os sinais devem ser



B7 - Aproximação de Rotunda



D4 - Rotunda

Figura 46 - Sinais de rotunda (fonte RST)

sempre colocados do lado direito da via, devendo ser repetidos do lado esquerdo na presença de múltiplas vias de entrada (Figura 47) ou sempre que as condições da via o justifiquem (n.º1 do art. 14.º do RST), designadamente face a velocidades de aproximação elevadas ou condições de visibilidades deficientes.

Em zonas interurbanas ou em locais onde se pratiquem velocidades de circulação superiores a 50 km/h, tais como nas vias estruturantes urbanas, é de boa prática a utilização de um pré-aviso ao sinal B1. Esse pré-aviso, que deve ser colocado a distâncias superiores a 50 metros, consiste no mesmo sinal acoplado a um painel adicional do tipo modelo 1a do CE que indique a distância a que se encontra da entrada da rotunda. Este sinal, pode ainda ser associado a sinais de limitação legal da velocidade (sinal C13 do RST).

Apesar da geometria dos ilhéus separadores não convidar à inserção dos veículos no anel de circulação em sentido contrário ao da marcha, recomenda-se, se a dimensão dos ilhéus separadores o proporcionar, a colocação do sinal “sentido proibido” (sinal C1 do RST) nos ilhéus separadores, em cada uma das entradas e voltado para o sentido contrário ao da marcha.

A ilha central deve, em princípio, ser sinalizada com baias direccionais múltiplas (sinal O6b do RST) associadas a sinais de sentido obrigatório (sinal D1a do RST) em posição frontal à trajectória dos veículos que entram na rotunda (Figura 47). Estes sinais reforçam a obrigatoriedade imposta aos condutores para contornarem a ilha central e alertam para a existência da curva horizontal de maior perigo. As baias direccionais múltiplas não devem ser utilizadas isoladamente mas sim associadas ao sinal de sentido obrigatório D1a para acentuar o carácter de entrada na rotunda, eliminando desta forma, qualquer possível confusão com a curva à direita. Refira-se contudo que os sinais O6b apenas deverão ser colocados em rotundas localizadas em vias interurbanas ou integradas em vias urbanas estruturantes (VB>50 km/h) e que disponibilizem ilhas centrais com dimensões razoáveis por forma a que a sua colocação não interfira com os normais níveis de visibilidade dentro do anel de circulação. Nas restantes situações deverá manter-se, sempre que possível, a utilização do sinal D1a. Face às características da ilha central associadas às mini-rotundas (ilhas transponíveis), refira-se que não se considera admissível a aplicação de qualquer sinal no seu interior.

A proeminência dos ilhéus separadores passa ainda pela colocação do sinal de obrigação D3a do CE (“Obrigação de contornar a placa ou obstáculo”) acoplado a uma baliza de posição (O7a) na extremidade de montante do separador, indicando a posição e limites do obstáculo, obrigando a contornar a placa no sentido da entrada da rotunda.

A existência de passagens de peões deve ser sinalizada pela colocação do sinal H7 (“Passagens de peões”) na proximidade imediata da linha de paragem que a antecede, desde que tal colocação não resulte em prejuízo para a visibilidade dos sinais D4 e/ou B1. Á partida não se justifica a colocação do sinal de

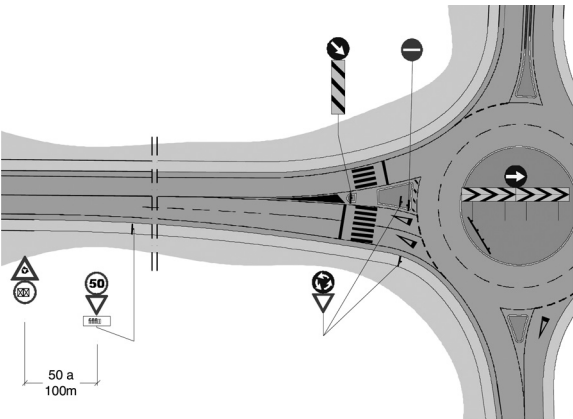


Figura 47 - Exemplo de sinalização vertical de regulamentação

perigo A16a (“Travessia de peões”), uma vez que o condutor já vem a ser alertado (pela restante sinalética) para a necessidade de alterar a sua conduta.

5.3 SINALIZAÇÃO VERTICAL DE ORIENTAÇÃO

O sistema informativo é constituído pelo conjunto de sinais verticais susceptíveis de serem utilizados na sinalização de orientação da rotunda, e inclui os sinais de pré-sinalização (I1, I2a a I2f, I3a e I3b); eventualmente sinais de selecção de vias (E1 a E3); sinais de direcção (J1, J2 e J3a a J3d) e sinais de confirmação (L1).

Em meio rural, a Norma de Sinalização Vertical de Orientação da JAE (1992) define o Sistema Informativo dividido em dois grandes grupos: para Itinerários Principais e Complementares e para as Outras Estradas, sendo consideradas ainda adaptações do sistema informativo base para alguns casos particulares. Por sua vez, para meio urbano não se encontra definido, em norma, um sistema informativo, verificando-se nas vias urbanas de maior nível hierárquico a adopção mais ou menos generalizada do sistema informativo da JAE enquanto que nas vias de mais baixo nível hierárquico se recorre com frequência a mobiliário urbano diversificado.

Actualmente encontra-se em desenvolvimento e discussão, pelas entidades oficiais, uma proposta de sistematização da aplicação da sinalização de orientação nas intersecções, através de um sistema informativo definido em função do tipo de intersecções, considerando ainda adaptações em função da rede. Na ausência de outros documentos oficiais, recomenda-se que os estudos de sinalização em rotundas se baseiem nas indicações estabelecidas no presente documento e na Nota Técnica “Sinalização de Rotundas” da DGV.

5.3.1 SISTEMA INFORMATIVOS EM ROTUNDAS

5.3.1.1 Sistema Informativo Base

O sistema informativo de base para intersecções de nível disposto na Norma de Sinalização Vertical de Orientação é constituído por sinais de pré-aviso gráfico (I2), de direcção (J1/J2 ou J3) e, em estradas da rede nacional, por sinais de confirmação (L1) (ver na Figura 48). Face a soluções com multiplas vias de entrada e onde se evidencia a estrita necessidade de seleccionar os utentes por via na proximidade da intersecção deverão ainda ser utilizados sinais de selecção de vias (E1). Este sistema informativo é apresentado esquematicamente, para o caso de rotundas, na Figura 48 sendo as distâncias de colocação longitudinal definidas na Tabela 11.

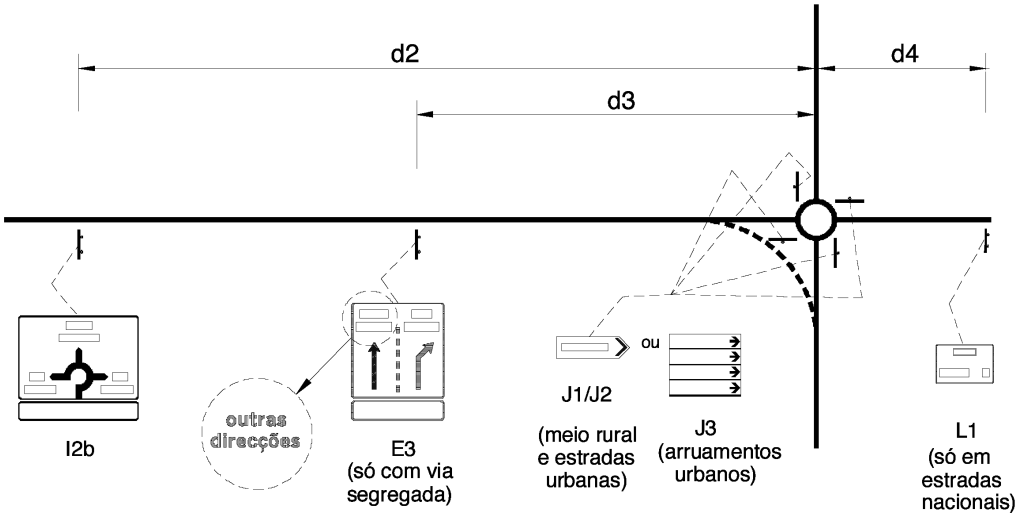


Figura 48 - Sistema informativo de base da JAE (fonte: adaptado de ALMEIDA ROQUE, 2004)

Tabela 11 - Colocação longitudinal dos sinais do sistema informativo

Velocidades	d2 (m)	d3 (m)	d4 (m)
90-110	750	0-250	300
40-90	150-500	0-150	50-250

5.3.1.2 Sistema Informativo na Rede Secundária de Arruamentos

O sistema informativo aplicável a intersecções de nível integradas na rede secundária de arruamentos (rede local) é constituído por um sinal de pré-aviso gráfico (I2b), o qual pode ser dispensável em vias de acesso local e, por sinais de direcção de âmbito urbano (J3). A Figura 49 apresenta em termos esquemáticos a disposição destes sinais, bem como as distâncias a que devem ser colocados.

5.3.2 PRÉ-AVISOS GRÁFICOS

A colocação de pré-avisos gráficos (Figura 50) nas entradas das rotundas constitui habitualmente o aviso mais marcante da presença da intersecção, já que representa um diagrama esquemático do cruzamento e identifica os principais destinos associados a cada saída.

A legibilidade deste tipo de painéis depende não só da disposição da informação mas igualmente da capacidade desta ser atempadamente visualizada e processada pelo condutor, pelo que a dimensão da letra deve ser definida em função da velocidade de base e de acordo com as regras gerais estipuladas pela Norma de Sinalização Vertical de Orientação. O seu dimensionamento deve ainda ser acompanhado de um esforço de minimização da quantidade de informação a disponibilizar. De acordo com a norma em vigor (JAE, 1995), são admitidos no máximo 6 destinos por painel, sendo preferencialmente admitidos até 2 por cada direcção contemplada, embora seja excepcionalmente admissível a afectação de três destinos por direcção de saída. A utilização de ideogramas pode tornar-se bastante prática ao sintetizar e eliminar informação escrita, permitindo ainda uma fácil compreensão pelos utilizadores menos familiarizados com a língua portuguesa.

5.3.3 SINAIS DE SELECÇÃO DE VIAS

A utilização de sinais de selecção de vias pode revelar-se importante quando houver duas ou mais vias na aproximação à rotunda e a estrita necessidade de seleccionar os utentes por via, como é o caso das entradas que dispõem de uma via segregada de viragem à direita. O sinal de selecção será lateral, no caso mais corrente de duas vias, e em pórtico (sinal E1 ou E1+E2) para três ou mais vias.

5.3.4 SINAIS DE DIRECÇÃO

Cada saída deve ser provida de informação de orientação que faculte ao condutor os principais destinos a seguir. Essa informação é habitualmente expressa em setas de direcção (meio rural e estradas urbanas) ou em sinais de indicação de âmbito urbano (arruamentos urbanos). Os sinais podem dispor de um ou dois destinos cada (ver Figura 51).

Os sinais de direcção devem ser preferencialmente colocados nos ilhéus separadores de sentidos (quando fisicamente materializados) ou, na sua ausência, no lado esquerdo da correspondente faixa de rodagem, não sendo admissível a sua colocação no anel de circulação ou na ilha central. Por questões de legibilidade, apenas deve constar em cada saída a informação referente a essa mesma saída.

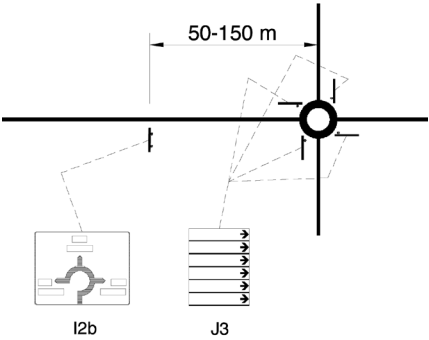


Figura 49 - Sistema informativo na rede secundária de arruamentos (retirado de Almeida Roque, 2004)

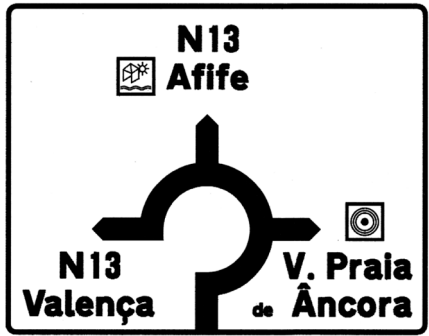


Figura 50 - Exemplo de um painel de pré-aviso gráfico (fonte Almeida Roque, 2004)



Figura 51 - Sinais de direcção (a) seta de direcção / (b) sinais de indicação de âmbito urbano (fonte)

No dimensionamento das setas de direcção, a altura de letra a adoptar é de 14 ou 20cm, consoante a velocidade de base seja inferior ou superior a 60km/h. Nos sinais de âmbito urbano o tamanho de letra deve ser igual ou inferior a 14cm, devendo contudo serem salvaguardadas as condições mínimas de legibilidade da informação disponibilizada.

Em termos de colocação vertical, não existe nenhuma limitação regulamentar, podendo os sinais de direcção serem colocados à altura mais conveniente, em função da sua localização (art. 13º, n.º8). As regras de boa prática apontadas pela Norma de Sinalização Vertical de Orientação da JAE devem contudo ser seguidas, salvaguardando-se alturas livres (distância mínima entre o pavimento e a face inferior dos sinais) de 1,5m no caso dos nós desnivelados e de 2,20m nas intersecções de nível.

5.3.5 SINAIS DE CONFIRMAÇÃO

Os painéis de confirmação têm a sua aplicabilidade limitada a zonas interurbanas. Para além do número da estrada por onde circulam facultam ao condutor informação sobre os destinos a aceder através daquela via, bem como as distâncias a que se situam desses locais.

Estes painéis devem ser colocados a jusante da intersecção, lateralmente e do lado direito da faixa de rodagem, a uma distância da delimitação da saída de 50 a 250 metros, a qual deve aumentar para 300 face a velocidades superiores a 90km/h. À semelhança dos painéis de pré-aviso a face inferior do painel deve salvaguardar uma distância mínima do solo de 1,5 metros (em zonas interurbanas, subindo para 2,2 metros em zonas urbanas, quando colocados em passeios ou face à presença de peões (ponto 7 do artº13 do RST).



Figura 52 - Sinal de Confirmação (Fonte RST)

6. MODELOS DE PREVISÃO DE CAPACIDADES EM ENTRADAS DE ROTUNDAS

6.1 CONCEITO DE CAPACIDADE

Em rotundas, o conceito de capacidade geral não tem um significado prático, já que não existe uma correspondência unívoca entre a geometria de uma rotunda e a sua capacidade, sendo o desempenho geral da intersecção uma função da repartição direccional do tráfego. Naturalmente, uma rotunda onde a totalidade dos veículos sai na saída imediatamente consecutiva, garante maiores níveis de escoamento do que uma rotunda onde todos os veículos a abandonem na última saída.

Assim o nível de desempenho geral da rotunda é avaliado em função da capacidade oferecida por cada uma das entradas podendo definir-se a **capacidade de uma entrada (Qe)** como o máximo valor do débito da corrente secundária que, de uma forma continuada, consegue inserir-se numa determinada corrente principal, ao longo de um determinado período de tempo, durante o qual, é garantida a formação de uma fila de espera contínua na aproximação a essa entrada e durante o qual tem que negociar essa entrada com um determinado nível de tráfego prioritário. A capacidade é portanto um parâmetro que reflecte o nível de serviço oferecido pela infraestrutura e é expressa em unidades de veículos ligeiros equivalentes (uvle) por unidade de tempo. É ainda comum encontrar referência à **capacidade geométrica de uma entrada**, como correspondente à capacidade da entrada, quando o tráfego prioritário no anel é nulo. A capacidade geométrica da entrada, depende assim unicamente das

características geométricas prevaletentes da infraestrutura, correspondendo ao valor máximo da capacidade que essa entrada pode assegurar.

6.2 RECOLHA DE DADOS

A caracterização dos níveis de procura de uma rotunda baseia-se habitualmente na recolha dos fluxos direccionais recorrendo a contagens direccionais. No entanto, a dimensão da ilha central e o comprimento dos trajectos associados aos movimentos de viragem à esquerda e de ida em frente, constituem dois dos principais factores que dificultam consideravelmente a recolha manual por observação dos fluxos direccionais.

Os sub-pontos seguintes procuram apresentar metodologias de apoio à recolha dos fluxos direccionais numa rotunda, tendo por base os objectivos pré-estabelecidos, apontando-se para uma metodologia de base e alguns outros procedimentos simplificados.

6.2.1 MÉTODO GERAL POR REGISTO DE MATRÍCULAS

A elaboração de estudos de viabilidade ou a identificação da solução mais adequada ao tratamento de uma intersecção exige habitualmente o conhecimento prévio dos diferentes fluxos direccionais em cada ramo afluente. A metodologia aqui exposta centra-se na contagem dos fluxos de entrada e saída dos **n** diferentes ramos afluentes à rotunda e no registo de matrículas em **(n-1)** ramos.

Com efeito e designando por *qij* o débito da corrente de tráfego que se movimenta de *i* para *j*, *Qi* e *Qj'* os débitos totais com origem e destino, respectivamente no ramo *i* e *j*, verifica-se, que o número de incógnitas a medir corresponde a (n²+2n), onde n² representa o total de *qij* e 2n o somatório dos *Qi* e *Qj'*. Dadas as relações:

$$Q_i = \sum_j q_{ij} \quad i=1, \dots, n \quad (1)$$

$$Q_j = \sum_i q_{ij} \quad j=1, \dots, n$$

$$\sum_i Q_i = \sum_j Q_j' \quad (2)$$

verifica-se que de (1) resultam 2n equações independentes, o que reduz a n² o número de variáveis a medir. Dado que os débitos direccionais em rotundas são os movimentos mais difíceis de observar é habitual optar-se pelo registo dos débitos globais (de entrada e de saída) com recurso a simples contagens manuais ou automáticas e aos quais correspondem (2n-1) variáveis independentes. O processo de recolha é completado com a leitura de matrículas em (n-1) ramos (entradas e saídas) o que permite contabilizar as restantes (n-1)² variáveis a definir. A Tabela 12 representa matricialmente as variáveis a medir e o processo de medição para o caso geral de uma rotunda com n ramos de entrada:

Tabela 12 - Variáveis a medir num processo de recolha de fluxos direccionais

	1	2	...	n-1	n	S
1	q_{11}	q_{12}		$q_{1(n-1)}$	Q_{1n}	Q_1
2	q_{21}	q_{22}		$q_{2(n-1)}$	q_{2n}	Q_2
...						...
n-1	$Q_{(n-1)1}$	q_{32}		$q_{(n-1)(n-1)}$	$q_{(n-1)n}$	Q_{n-1}
n	q_{n1}	q_{42}		$q_{n(n-1)}$	q_{nn}	Q_n
S	Q'_1	Q'_2	...	Q'_{n-1}	Q'_n	

Q_i/Q_j	Contagem automática ou manual
Q'_i/j	Contagem e registo de matrículas
q_{ij}	calculada pela análise do registo de matrículas

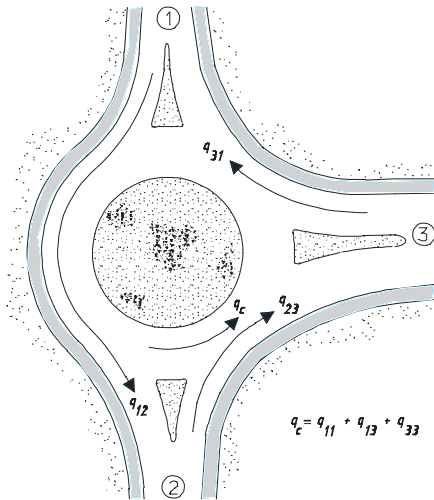


Figura 53 - Recolha de dados em rotundas com 3 ramos

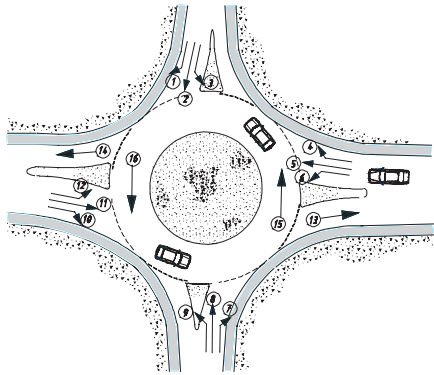


Figura 54 - Recolha de dados em rotundas com 4 ramos

Este processo apesar de expedito, baseia-se no registo de matrículas, processo este habitualmente apoiado por gravações áudio e portanto sujeito a erros significativos de dicção ou mesmo de interpretação. Trata-se ainda de um procedimento onde a eventualidade de ocorrência de qualquer incidente no processo de recolha de dados (quebra da fita áudio, falha de pilhas, regravação de uma cassette, etc) pode pôr em causa toda a secção de registo.

Estes erros em conjugação com outro tipo de erros comuns às sessões de recolha de dados, nomeadamente os originados por diferentes conceitos de classes de veículos por parte de cada observador, repercutem-se na qualidade dos dados finais, sendo que a resolução do sistema de equações anteriormente definido pode não ter solução, ou resultar em dados pouco fiáveis. Recomenda-se assim que, nestas circunstâncias, se opte por registar um ou mais movimentos direccionais complementares que permitam aferir os fluxos resultantes do processo matemático.

6.2.2 CASO PARTICULAR DE ROTUNDAS COM 3 RAMOS

Sempre que a rotunda apresente apenas 3 ramos afluentes, a metodologia anterior pode ser francamente simplificada, substituindo a determinação dos quatro movimentos internos resultantes do processo de registo de matrículas, pelas contagens direccionais dos três movimentos circulares periféricos de viragem à direita e por um movimento conflituante que passa frontalmente a qualquer um dos ramos.

A equação referente ao tráfego conflituante (Figura 53) conjuntamente com as 5 equações correspondentes à soma dos fluxos de entrada e de saída *Qi* e *Qj'*, permite determinar todos os débitos em falta, através da resolução de um sistema de 6 equações a 6 incógnitas.

6.2.3 CASO PARTICULAR DE ROTUNDAS COM 4 RAMOS, PARA MOVIMENTOS DE INVERSÃO DE MARCHA NEGLIGENCIÁVEIS

Sempre que os movimentos de inversão de marcha possam ser considerados negligenciáveis, torna-se possível determinar os fluxos direccionais da rotunda com quatro ramos, sem recorrer ao registo de matrículas. Para tal torna-se necessário contabilizar os fluxos totais das entradas ($q_{[1+2+3]}$, $q_{[4+5+6]}$, $q_{[7+8+9]}$, $q_{[10+11+12]}$), os movimentos de viragem à direita para os quatro ramos (q_i , q_4 , q_7 , q_{10}), dois dos fluxos conflituantes opostos (q_{15} , q_{16}) bem como os fluxos na saída imediatamente anterior (q_{13} , q_{14}) (Figura 54)

A determinação dos fluxos direccionais resulta da resolução de um sistema de 8x8. A formulação do problema é simples e facilmente resolúvel de uma forma manual:

$q_1 + q_2 + q_3 = q_{[1+2+3]}$ (onde q_1 e $q_{[1+2+3]}$ são conhecidos)
 $q_4 + q_5 + q_6 = q_{[4+5+6]}$ (onde q_4 e $q_{[4+5+6]}$ são conhecidos)
 $q_7 + q_8 + q_9 = q_{[7+8+9]}$ (onde q_7 e $q_{[7+8+9]}$ são conhecidos)
 $q_{10} + q_{11} + q_{12} = q_{[10+11+12]}$ (onde q_{10} e $q_{[10+11+12]}$ são conhecidos)

$q_2 + q_3 + q_6 = q_{16}$ (onde q_{16} é conhecido)
 $q_8 + q_9 + q_{12} = q_{15}$ (onde q_{15} é conhecido)

$q_1 + q_5 + q_9 = q_{14}$ (onde q_1 e q_{14} são conhecidos)
 $q_3 + q_7 + q_{11} = q_{13}$ (onde q_7 e q_{13} são conhecidos)

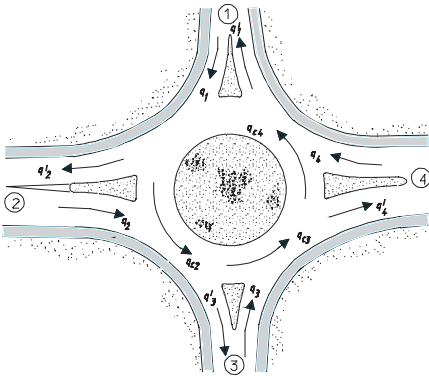


Figura 55 - Recolha de dados simplificada - Análise de Capacidade

6.2.4 CASO PARTICULAR DE SE PRETENDER APENAS OS FLUXOS CONFLITUANTES

Sempre que se pretenda limitar a análise à avaliação da reserva de capacidade em cada entrada, dispensa-se o conhecimento dos diferentes movimentos direccionais, sendo suficiente, em função dos modelos de cálculo a utilizar, a estimação dos n fluxos globais de entrada e dos n fluxos conflituantes referentes a cada entrada (modelo do TRL), ou dos n fluxos de entrada e saída e (n) conflituantes (modelos do SETRA, CETUR). As contagens são assim francamente simplificadas e no máximo limitadas às contagens em secção nos n ramos afluentes e aos (n) movimentos conflituantes que atravessam cada uma das entradas.

6.3 FLUXOS DE DIMENSIONAMENTO E CONVERSÃO EM UNIDADES DE VEÍCULOS EQUIVALENTES (U.V.L.E.)

É genericamente consensual que a classificação do tráfego, nomeadamente o peso do tráfego pesado numa determinada corrente de tráfego, exerce uma considerável influência no nível de serviço oferecido pela infraestrutura. Face à impossibilidade de se adoptarem coeficientes de equivalência para uniformização das várias classes de veículos, através da sua conversão em unidades de veículos ligeiros equivalentes (uvle), simplifcadamente simbolizados por (uve).

Assim uma unidade de veículos ligeiros equivalentes, em dimensionamento de cruzamentos, corresponde à medida utilizada para conversão dos diferentes tipos de veículos registados numa determinada corrente de tráfego, numa unidade equivalente ao veículo ligeiro, supondo que o troço em análise se integra num trainél de inclinação longitudinal pouco acentuada (patamar).

Estudos desenvolvidos em França (CETUR, 1988) e baseados em observações locais, permitiram avaliar que o peso de um veículo pesado equivale, em zona urbana, a cerca de 2 veículos ligeiros, independentemente da corrente em que se insere, devendo este factor ser ligeiramente aumentado, sempre que a rotunda apresente dimensões compactas ou disponha de uma significativa percentagem de veículos pesados. O mesmo estudo recomenda a adopção de diferentes valores de coeficientes de equivalência sempre que os veículos de duas rodas se insiram na corrente prioritária (0,8) ou secundária (0,2).

Também a versão de 1994 do HCM (HCM, 1994) apresenta uma classificação simplificada em 4 classes (Tabela 13) para aplicação em cruzamentos prioritários, como uma função das inclinações das vias na aproximaçõess. Apresenta ainda factores de conversão generalizados, para estudos de tráfego onde não se disponha de contagens classificadas, funcionando assim como coeficientes de segurança.

Tabela 13 - Factores de conversão segundo HCM, 1994

Classe de Veículo	Inclinação				
	-4%	-2%	0%	2%	4%
2 rodas	0,3	0,4	0%	2%	4%
ligeiros	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4
Pesados ⁽¹⁾	1,0	1,2	1,5	2,0	3,0
BUS e pesados combinados ⁽²⁾	1,2	1,5	2,0	3,0	6,0
Classificação não discriminada	0,9	1,0	1,1	1,4	,1,7

⁽¹⁾ - Veículos pesados sem reboque; ⁽²⁾ - Inclui conjuntos tractor-reboque

As condições portuguesas foram analisadas por Figueiredo Pereira (Pereira, 1991) tendo sido obtidos os coeficientes de equivalência apresentados na Tabela 12.

Tabela 14- Classes de Veículos e Coeficientes de Equivalência (Pereira, 1991)

Classes de Veículos	Descrição	Coeficiente de equivalência
2W	(2 wheels) - Veículos de duas rodas (motos, bicicletas, scooters)	0,50 ^(*)
CAR	(Car) - Veículos ligeiros - Carros, caracterizados por dois eixos e quatro rodas	1,00
LGV	(Light Goods Vehicles) - Veículos ligeiros de mercadorias, caracterizados por dois eixos e quatro rodas	1,22
MGV	(Medium Goods Vehicles) - Veículos médios de mercadorias, caracterizados por dois eixos e mais de quatro rodas	1,64
HGV	(Heavy Goods Vehicles) - Veículos pesados de mercadorias, caracterizados por mais de dois eixos	2,58

É possível encontrar referências a diversos sistemas de classificação. A ex-JAE dispõe de uma classificação do tráfego sub-dividida em 11 classes, a qual está na base dos recenseamentos quinquenais. É, no entanto, aceite que para estudos de tráfego essa classificação pode ser francamente simplificada. Independentemente da classificação adoptada, torna-se evidente que é indispensável estimar com fiabilidade os fluxos equivalentes, sendo que a utilização de coeficientes de equivalência se tem revelado de uso generalizado e simples pelo que foi adoptado no presente documento.

A partir da ponderação de todas estas referências é proposta a adopção dos coeficientes de conversão baseada nos valores apresentados pelo HCM para uma classificação simplificada com 3 classes de veículos (Tabela 15).

Tabela 15 - Coeficientes de conversão recomendáveis

Classe de Veículo	Inclinação				
	-4%	-2%	0%	2%	4%
2 rodas	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
Ligeiros	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
Pesados e BUS	1.2	1.5	2.0	3.0	6.0

6.4 MÉTODOS DE CÁLCULO DE CAPACIDADES

Qualquer que seja a abordagem teórica de base, o desenvolvimento de um modelo de previsão de capacidades, procura apresentar uma expressão matemática que estime essa capacidade em função das diferentes variáveis independentes, habitualmente relacionadas com as características geométricas da entrada e com as características dos fluxos de circulação prioritários.

É possível recorrer a três tipos de modelos de estimação: estatísticos, probabilísticos e de simulação.

Os Estatísticos, que procuram reconstituir, de uma forma empírica, a curva da capacidade, por recurso a observações locais efectuadas durante períodos de saturação de diferentes entradas com características geométricas diferenciadas e para níveis de fluxos prioritários variados.

Os Probabilísticos, baseados na conjugação da distribuição dos veículos da corrente prioritária com o processo de chegada das vias secundárias, assumindo que ambas as distribuições obedecem a leis de aleatoriedade e assumindo uma determinada lei de aceitação de intervalos entre veículos.

Os de Simulação, baseados na modelação, veículo a veículo, das interacções entre o fluxo de entrada e o prioritário do anel de circulação apresentando-se de forma geral em sofisticados programas computacionais.

Estudos de investigação levados a cabo em Portugal (Bastos Silva, 1997), baseados em análises comparativas dos valores de capacidade real face aos resultantes da aplicação de diferentes modelos de previsão, demonstraram que o andamento das curvas da capacidade observada em Portugal se identificavam melhor com os modelos de base estatística. Foi ainda demonstrado que o modelo do TRL (Kimber, 1980), era o que mais se aproximava da capacidade geométrica observada (ordenada na origem), enquanto que o modelo do SETRA (Louah, 1992), era o que melhor representava a influência do tráfego conflituante (inclinação da recta).

Neste contexto, optou-se por, de entre os modelos internacionais, limitar a apresentação aos métodos do TRL e do SETRA, sendo que o modelo do TRL, constitui até à actualidade o modelo mais validado a nível internacional. Apresenta-se ainda o modelo da FCTUC enquanto modelo calibrado para as condições de circulação nacionais.

6.4.1 O MÉTODO DO TRL

O método do TRL baseia-se num modelo de base estatística (Kimber, 1980), deduzido com base em técnicas de regressão múltipla não linear e suportado por extensas recolhas de campo que abrangeram 86 rotundas e cobriram uma vasta gama de variabilidade de parâmetros geométricos, totalizando mais de 11 000 minutos de observação em entradas saturadas (Weeb et. al., 1992).

A formulação geral resultante é uma função linear, que relaciona a capacidade da entrada com o fluxo conflituante e os coeficientes F e f_c , que, por sua vez, representam parâmetros dependentes da geometria da intersecção:

$$Q_e = K(F - f_c * Q_c)$$
$$Q_e = 0$$

$$\text{se } f_c \times Q_c < F$$
$$\text{se } f_c \times Q_c > F$$

$$\text{ou,}$$

onde:
 Q_e é a Capacidade da entrada
 Q_c é o Fluxo Conflituante (aqui considerado como o tráfego de circulação no anel)

F e f_c são parâmetros dependentes das características geométricas da entrada e da rotunda, tal que:

$$K = 1 - 0.00347(\varphi - 30) - 0.978\{(1/r) - 0.05\}$$
$$F = 303X_2$$
$$f_c = 0.21t_p(1 + 0.2X_2)$$
$$t_p = 1 + 0.5 / (1 + M)$$

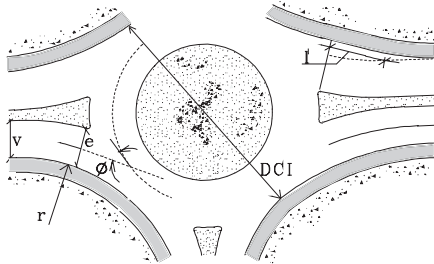


Figura 56 - Parâmetros geométricos - modelo TRL

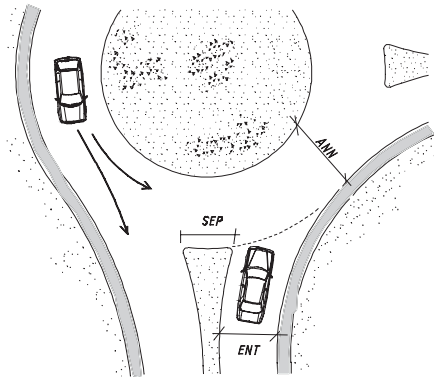


Figura 57 - Método do SETRA - Parâmetros Geométricos

$$M = \exp \{(DCI - 60) / 10\}$$
$$X_2 = v + (e - v) / (1 + 2S)$$
$$S = 1.6(e - v) / l'$$

onde (ver Figura 56):
 v - largura da via na aproximação da rotunda
 e - largura efectiva da entrada junto à linha de cedência de prioridade e na perpendicular ao lancil
 l' - comprimento médio efectivo do leque
 r - raio da entrada medido no ponto de menor curvatura
 DCI - diâmetro do Círculo Inscrito (DCI)
 φ - ângulo de entrada

É ainda apresentada uma variante ao modelo, adaptada à previsão de capacidades em rotundas desniveladas:

$Q_c = K(1.11F - 1.4f_c * Q_c)$ onde o significado das diferentes variáveis é o mesmo do apresentado anteriormente.

6.4.2 O MÉTODO DO SETRA

O modelo estatístico do SETRA foi desenvolvido em 1980 tendo vindo a ser progressivamente melhorado. Baseia-se no registo de períodos de saturação em 56 entradas de 17 rotundas saturadas, localizadas em zonas peri-urbanas e rurais, totalizando cerca de 1200 minutos de observação (Louah, 1992).

Este modelo, à semelhança do modelo do TRL, é uma função linear que relaciona a capacidade com as características geométricas da entrada e com o tráfego conflituante. O tráfego conflituante é, por sua vez, uma combinação do tráfego que atravessa frontalmente a entrada em estudo e do tráfego que abandona o anel na saída imediatamente anterior (ver Figura 57):

$$Q_e = (1330 - 0.7Q_c)(1 + 0.1(ENT - 3.5))$$

onde:

$$Q_c = (Q_t + 2 / 3Q_s(1 - SEP / 15))(1 - 0.085(ANN - 8))$$

Q_c é o fluxo conflituante (uvle/h)
 Q_s é o fluxo de saída do ramo em análise (uvle/h)
 Q_t é o fluxo de circulação e que atravessa frontalmente a entrada em estudo (uvle/h)
 ENT é a largura da entrada medida na traseira do primeiro veículo parado na linha de cedência de prioridade (m)
 ANN é a largura do anel de circulação em torno da ilha central (m)
 SEP é a largura do ilhéu separador (m)

6.4.3 O MODELO DA FCTUC

O modelo da FCTUC consiste na calibração do modelo original do TRL, para as condições de circulação nacionais (Bastos Silva, 1997). Para o efeito foi construída uma base de dados real resultante do registo de 11 entradas de 8 rotundas nacionais saturadas, 4 das quais (correspondentes a 6 entradas) localizadas em zona urbana e 4 (com 5 entradas) em zona peri-urbana, totalizando 952 minutos de observação.

O modelo resultante mantém a estrutura do modelo original, mostrando-se capaz de explicar 61,7% da variação observada, e apresenta a seguinte formulação:

$$Q_e = K (F - f_c * Q_c) ' \quad ,$$

com:

$$K = 1 - 0.00163(\varphi - 30) - 3.431 \{1/r - 0.05\}$$

$$F = 335.47 X_2$$

$$f_c = 0.611 * t_d(-0.457 + 0.2X_2)$$

$$t_d = 1 + 0.983 / (1 + M)$$

$$M = \exp \{ (DCI - 60) / 10 \}$$

$$X_2 = v + (e - v) / (1 + 2S)$$

$$S = 1.6(e - v) / l'$$

onde cada parâmetro tem o mesmo significado do apresentado no 6.4.1:

- v - largura da via na aproximação da rotunda
- e - largura efectiva da entrada junto à linha de cedência de prioridade e na perpendicular ao lancil
- l' - comprimento médio efectivo do leque
- r - raio da entrada medido no ponto de menor curvatura
- DCI - Diâmetro do Círculo Inscrito
- φ - ângulo de entrada

A análise dos resíduos resultantes do modelo optimizado apontava para uma desejável aleatoriedade da sua distribuição em relação à variação da variável dependente, verificando-se ainda a sua distribuição tende a seguir o andamento da curva normal.

6.4.4 RECOMENDAÇÕES PARA O CÁLCULO DE CAPACIDADES EM ROTUNDAS PORTUGUESAS

Atendendo à dimensão limitada da amostra que deu origem aos trabalhos de calibração do modelo da FCTUC, agravada pelo facto da mesma apresentar uma variação limitada de cada parâmetro geométrico caracterizador das entradas, considera-se que o modelo da FCTUC não é suficientemente robusto para ser utilizado de forma generalizada. Também o facto de o modelo não ter sido objecto de trabalhos adicionais de validação leva a que os resultados obtidos pela aplicação do modelo devam ser encarados com precaução.

Por outro lado e reportando ao estudo anteriormente desenvolvido (Bastos Silva, 1997), constata-se que o modelo do TRL, apesar de entre os diferentes modelos seleccionados ser o que mais se aproximou dos valores da capacidade geométrica observada, tende a apresentar resultados sobredimensionados, em cerca de 25%.

Por sua vez, o modelo do SETRA foi o que demonstrou melhor representar a influência do tráfego conflituante no valor da capacidade, tendendo contudo a estimar valores subdimensionados em relação à capacidade observada.

Nesse contexto, recomenda-se que a previsão de capacidades em rotundas nacionais seja numa primeira análise estimada pela aplicação do modelo da

FCTUC apresentado em 6.4.3, embora balizado pelos valores resultantes da aplicação dos modelos do TRL e do SETRA.

6.4.5 NÍVEIS DE CAPACIDADE TÍPICOS EM ROTUNDAS

A aplicação do modelo FCTUC permitiu avaliar os níveis de capacidade assegurados pelos diferentes tipos de entrada em função da geometria adoptada, bem como a influência dos principais parâmetros geométricos.

Para o efeito, foi seleccionada uma série de “entradas tipo”, procurando cobrir a diversidade de tipologias de rotundas mais utilizadas em Portugal o que, no seu conjunto, permitiu avaliar a influência de alguns parâmetros relevantes da entrada e da rotunda.

Para cada tipologia considerada, foram determinados os níveis mínimos e máximos assegurados quer em termos de capacidade geométrica da entrada, quer da capacidade global da rotunda admitindo para o efeito determinadas condições de circulação fictícias mas representativas de situações típicas. É ainda avaliada a capacidade geométrica da entrada (Qe) enquanto indicador da capacidade máxima potencial a ser assegurada pela entrada em estudo. Optou-se ainda por estimar a “capacidade global da rotunda”, baseada numa intersecção com 4 entradas e saídas, onde a repartição dos fluxos dominante e secundário é de 70% e 30%, respectivamente e cuja repartição direccional em cada uma das entradas está representada na (Figura 58).

A metodologia adoptada passou por fazer entrar na rotunda valores crescentes de tráfego global e por sua vez avaliar os graus de saturação resultantes nas diferentes entradas.

A capacidade global da rotunda refere-se assim ao máximo número de veículos que se consegue inserir na rotunda (no conjunto das entradas) com quatro ramos de igual geometria, assim que uma entrada (entrada crítica) atinge a saturação (rácio fluxo chegada/ capacidade = 1,0). É assim um valor tanto mais inferior à soma das capacidades das diferentes entradas, quanto menor for o grau de saturação das entradas não congestionadas, sendo portanto sempre uma estimativa conservadora da capacidade das soluções analisadas.

A Tabela 16 sintetiza este processo de cálculo, apresentando aqueles que se consideram ser os valores mínimos e máximos possíveis de assegurar ao nível das capacidades geométrica da entrada e global da rotunda, para cada tipo de entrada analisada, tendo por base os valores recomendáveis para cada um dos parâmetros geométricos. É ainda apresentada a variação previsível nos valores das capacidades em função das variações impostas a cada um dos parâmetros geométricos, assumindo que os restantes parâmetros se mantêm fixos e iguais aos valores de base.

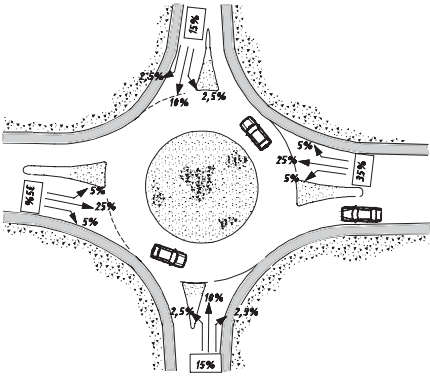


Figura 58 - Repartição direccional para cálculo da capacidade global

Tabela 16 - Níveis de Capacidade

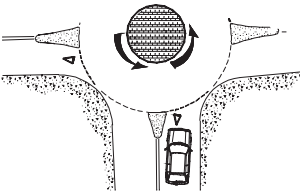
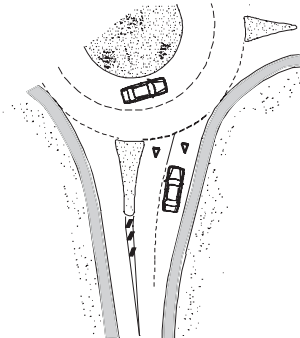
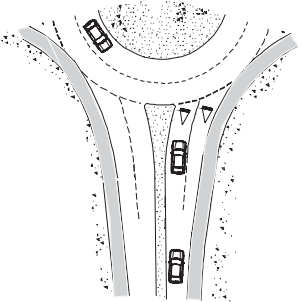
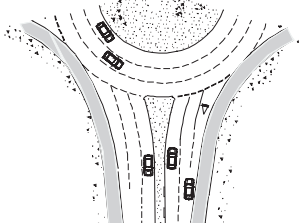
Esquema	Relações entre geometria e valores de capacidade		
	Valores de base	Valores mínimos	Valores máximos
Mini-Rotunda	Parâmetros Geométricos		
	DCI=20m v=3,65m e=4,0m l'=5,0m r=15,0m φ=25º	DCI=20m v=3,65m e=4,0m l'=5,0m r=6,0m φ=60º	DCI=20m v=3,65m e=7,0m l'=50,0m r=30,0m φ=20º
	Capacidade Geométrica da Entrada (Q _e) e Capacidade Global (Q _g) em (uvle/h)		
	Q _e =1340 Q _g =3140	Q _e =725 Q _g =1870	Q _e =2310 Q _g =4300
	Influência dos parâmetros geométricos na capacidade (valores resultantes da variação de um parâmetro geométrico mantendo os restantes iguais aos valores de base)		
	Intervalos de variação dos parâmetros e=4,0 a 7,0m l'=5,0 a 50,0m r=6,0 a 30,0 φ=60º a 20º	Variações na capacidade geométrica da Entrada Q _e =1255 a 1500 Q _e =1340 a 1420 Q _e =855 a 1500 Q _e =1260 a 1350	Variações na capacidade global da Rotunda Q _g =3020 a 3360 Q _g =3140 a 3250 Q _g =2150 a 3440 Q _g =2980 a 3160
Rotunda Normal de	Valores de base	Valores mínimos	Valores máximos
	DCI=30m v=3,65m e=6,5m l'=12,0m r=20,0m φ=30º	DCI=30m v=3,65m e=4,0m l'=5,0m r=10,0m φ=60º	DCI=30m v=3,65m e=8,0m l'=100,0m r=50,0m φ=20º
	Capacidade Geométrica da Entrada (Q _e) e Capacidade Global (Q _g) em (uvle/h)		
	Q _e =1770 Q _g =3730	Q _e =1030 Q _g =2550	Q _e =2804 Q _g =4700
	Influência dos parâmetros geométricos na capacidade (valores resultantes da variação de um parâmetro geométrico mantendo os restantes iguais aos valores de base)		
	Intervalos de variação dos parâmetros e=4,0 a 8,0m l'=5,0 a 100,0m r=10,0 a 50,0 φ=60º a 20º	Variações na capacidade geométrica da Entrada Q _e =1330 a 1900 Q _e =1565 a 2100 Q _e =1465 a 1950 Q _e =1680 a 1800	Variações na capacidade global da Rotunda Q _g =3170 a 3875 Q _g =3480 a 4080 Q _g =3230 a 4010 Q _g =3590 a 3775

Tabela 16 - Níveis de Capacidade (cont.)

Esquema	Relações entre geometria e valores de capacidade		
	Valores de base	Valores mínimos	Valores máximos
Rotunda Normal	Parâmetros Geométricos		
(ramo de aproximação com uma via em cada sentido)	DCI=50m v=3,65m e=7,0m l'=12,0m r=20,0m φ=25°	DCI=50m v=3,65m e=4,0m l'=5,0m r=15,0m φ=60°	DCI=50m v=3,65m e=10,5m l'=100,0m r=50,0m φ=20°
	Capacidade Geométrica da Entrada (Q _e) e Capacidade Global (Q _g) em (uvle/h)		
	Q _e =1835 Q _g = 3930	Q _e =1180 Q _g = 2920	Q _e =3480 Q _g =5090
	INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS GEOMÉTRICOS NA CAPACIDADE (valores resultantes da variação de um parâmetro geométrico mantendo os restantes iguais aos valores de base)		
	Intervalos de variação dos parâmetros e=4,0 a 10,5m l'=5,0 a 100,0m r=10,0 a 50,0 φ=60° a 20°	Variações na capacidade geométrica da Entrada Q _e =1345 a 2055 Q _e =1595 a 2260 Q _e =1525 a 2020 Q _e =1730 a 1850	Variações na capacidade global da Rotunda Q _g =3250 a 4190 Q _g =3620 a 4400 Q _g =3400 a 4220 Q _g =3760 a 3950
Rotunda Normal de	Valores de base	Valores mínimos	Valores máximos
Grandes Dimensões (ramo de aproximação com duas vias em cada sentido)	DCI=60m v=7,3m e=11,0m l'=15,0m r=20,0m φ=30°	DCI=60m v=7,3m e=8,0m l'=5,0m r=15,0m φ=60°	DCI=60m v=7,3m e=15,0m l'=100,0m r=50,0m φ=20°
	Capacidade Geométrica da Entrada (Q _e) e Capacidade Global (Q _g) em (uvle/h)		
	Q _e =3145 Q _g = 5450	Q _e =2335 Q _g = 4600	Q _e =5060 Q _g =5670
	Intervalos de variação dos parâmetros e=8,0 a 15,0m l'=5,0 a 100,0m r=10,0 a 50,0 φ=60° a 20°		
	Variações na capacidade geométrica da Entrada Q _e =2655 a 3425 Q _e =2815 a 3560 Q _e =2605 a 3465 Q _e =2990 a 3195	Variações na capacidade global da Rotunda Q _g =5010 a 5530 Q _g =5170 a 5530 Q _g =4850 a 5650 Q _g =5290 a 5510	

Esta análise permitiu constatar que uma entrada sem leque de uma rotunda normal, constituída por uma única via de entrada, com parâmetros geométricos dentro das gamas recomendáveis, apresenta uma capacidade de cerca de 1350 uve/h subindo para 2650 na presença de 2 vias de entrada contínuas (aumento de 96%). Por sua vez, as mini-rotundas com uma única via de entrada e apesar das suas reduzidas dimensões, revelam-se extremamente eficazes ao nível da fluidez assegurando capacidades na ordem dos 1250 uve/h por entrada, confirmando-se assim aquela que é a experiência estrangeira nesta matéria.

Tendo por base as condições de circulação admitidas, constata-se ainda que uma rotunda normal, implantada na intersecção entre duas estradas com uma via em cada sentido, caracterizadas por entradas com uma única via de entrada, é capaz de assegurar capacidades globais na ordem dos 3250 uvle/, subindo para 3750, quando providas de leque que lhes permitam a formação de duas vias de entrada. Por sua vez, uma rotunda integrada entre duas vias caracterizadas por disponibilizarem duas vias em cada sentido e de entrada, assegura valores de capacidade global na ordem dos 5000 uvle/h, subindo para 5500, se providas de três vias de entrada.

Comprova-se assim a eficácia ao nível da capacidade do aumento do número de vias de entrada e da formação de leques. Com efeito, tendo por base uma entrada constituída por uma única via, verifica-se que a imposição de uma via adicional através da criação de um leque com 12 metros (espaço de stockagem de 2 veículos) se traduz num acréscimo de cerca de 36% na capacidade da entrada, sendo esse aumento de 53% quando criadas 2 vias adicionais. Essas percentagens crescem consideravelmente com o incremento do comprimento efectivo do leque, atingindo-se aumentos da ordem dos 42% na capacidade quando se passa de 5,0 para 100,0 metros.

Ao contrário do previsto pelo modelo original do TRL, no modelo FCTUC o raio da entrada revelou apresentar uma influência considerável ao nível da capacidade. Este parâmetro traduz-se no conforto de condução e na maior ou menor facilidade de inserção no anel de circulação, constatando-se que o aumento do raio se reverte num aumento do nível de capacidade. Contudo, atendendo a que a adopção de raios elevados dificulta a salvaguarda da deflexão adequada dos movimentos e que, por sua vez, incita à prática de velocidades elevadas, importa seleccionar com cuidado o valor a adoptar para este parâmetro.

Por outro lado, à semelhança do que transparece pela utilização do modelo do TRL é também aparente que o ângulo de entrada apresenta um efeito negativo e pouco significativo no valor da capacidade. Admitindo os extremos máximos do intervalo de variação, constata-se que a variação desse parâmetro poderá justificar o decréscimo de cerca de 6% na capacidade geométrica.

Da mesma forma, o aumento da dimensão global da rotunda (DCI), não se traduz num aumento significativo dos valores de capacidade. Refira-se, a título de exemplo, que numa rotunda normal o aumento do valor do DCI de 30 para 50 metros, se reverte no aumento de cerca de 4% da capacidade geométrica (65 uvl/h em 1770 uvle/h) e de 5% na capacidade global (200 uvl/h em 3730 uvle/h).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS
E BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

AASHTO, 1994 *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington, D.C.

Akçelik R., 1992 - *Roundabout Capacity and Performance Analysis Using SIDRA* - Australian Road Research Board (ARRB) - Summary report based on working document WD TE91/002 (Limited circulation, SIDRA Users only)

Almeida Roque C. A, 2004 - Sinalização de Rotundas - Textos didácticos, retirado de <http://carlosaroque.tripod.com>

Alphand, F.; Noelle, U.; Guichet, B., 1991 - *Roundabouts and Road Safety*; Proceeding of the International Workshop "Intersections without Traffic Signals II", 18-19 July in Bochum, Germany, Werner Brilon Editions, pg 107-125

Aragão, P., 1992 - *Mini-Giratoires em Suisse - Ingénieurs-Conceils*, Lausanne Suisse - Actes du Séminaire International "Giratoire 92", pg. 269-284, Edition SETRA/CETUR, Octobre, Nantes-France

Arnt O.K, 1994 - *Relationship between Roundabout Geometry and Accident Rates* - Mc Thesis, Faculty of Built Environment and Engineering, Queensland University of Technology, Australia, June

Arnt O.K, 2002 - *Roundabouts - Road Planning and Design Manual* - Chapter 14, Division of Main Roads, Australia, June

ATC, 1999 - *Australian Road Rules*, as approved by the Australian Transport Council, published by the National Road Transport Commission, Australia, October

AustRoads, 1993 - *Guide to Traffic Engineering Practice; Part 6 - Roundabouts* - Austroads National Office Editor, Sidney-Australia

Bared J. G.; Kaiser E. I., 2002 - Does you Interchange Design Have You Going Around in Circles? - *Public Roads*, Volume 66, Nº3, November/December

Bastos Silva, A.M.C., 1997 - *Aplicação e Concepção de Intersecções Giratórias nas Redes Viárias Urbana e Rural Portuguesas*- Tese de dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana, Edição FCTUC, Maio, Coimbra-Portugal

Bastos Silva, A.M.C., et al, 1998 - *O Dimensionamento e Projecto de Rotundas*- O Estado da Arte, Edição FCTUC, Novembro, Coimbra-Portugal

Bastos Silva, A.M.C., Seco A. J. M., Picado-Santos L.G, 1999 - *O Dimensionamento de Rotundas*- Recomendações de Projecto, Edição FCTUC, Novembro, Coimbra-Portugal

Bastos Silva, A.M.C., 2004 - *Definição de uma Metodologia de Concepção de Intersecções Giratórias* - Tese de dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil, especialidade em Urbanismo, Ordenamento do Território e Transportes, Edição FCTUC, Abril, Coimbra-Portugal

Boender J. P., 1999 - *Roundabouts: The New Dutch Guidelines* - Routes/Roads nº301 January 1999, pag 57-63

Bovy, H, et al; 1991 - *Guide Suisse des Giratoires*, mandat de recherche 9/98, VSS/FSR/EPFL, ISBN 2 - 8298-0065-6, Février, Lausanne-Suisse

Bovy, H., 1992 - *L'Essor Spectaculaire des Giratoires em Suisse*: de 19 à 720 Giratoires em 15 ans - Institut des Transports et de Planification - Actes du Séminaire International "Giratoire 92", pg. 67-79, Edition SETRA/CETUR, Octobre, Nantes-France

Brilon W; Stuwe B.;1992 - *Roudabouts in Germany* - Recent Results Regarding Capacity and Safety - Actes du Séminaire International "Giratoire 92", pg. 41-51, Edition SETRA/CETUR, Octobre, Nantes-France

DfT, 1981 - *Determination of Size of Roundabouts and Major/Minor Juntions* - Departmental Advice Note, TA 23/81, Department of Transport Editor, December U.K

DfT, 1984 - *The Geometric Design of Roundabouts* - Departmental Advice Note, TA 42/84, Department of Transport Editor, August, U.K.

DfT, 1993 - *Geometric Design of Roundabouts* - Department of Transport - Volume 6, Section 2, Part 3 of Design Manual for Roads and Bridges- Road Geometry Junctions, September, U.K.

DfT, 1997 - *Design of Road Markings at Roundabouts* - Department of Transport - TA 78/97, Volume 6, Section 2, Part 3 of Design Manual for Roads and Bridges- Road Geometry Junctions, November, U.K.

CETE L'Ouest, 1986 - *Evolution de la Sécurité Sur les Carrefours Giratoires* - Centre D´Etudes Techniques de L´Équipement de L´Ouest, Nantes, France

CETUR, 1988 - *Conception des Carrefours a Sens Giratoires Implantés em Milieu Urbain* - Centre d'Etudes des Transports Urbains, France

FHWA, 2000 - *Roundabouts: An Informational Guide* - U.S. Department of Transport, Federal Highway Administration - Publication Nº FHWA-RD-00-067, Virginia, USA, June

Guichet B., 1992 - *Typologie des Accidents dans les Giratoires Urbains* - Centre d'Etudes Techniques de Léquipement de l'Ouest- Actes du Séminaire International “Giratoire 92”, pg. 145-152, Edition SETRA/CETUR, Octobre, Nantes-France

Guichet, B., 1997 - *Roundabouts in France: Development, Safety, Design and Capacity*; Proceeding of the Third International Synposium on Intersections without Traffic Signals, in Portland, Oregon, USA, M. Kyte Editions, pg 100-105, July

HCM, 1994 - *Highway Capacity Manual* - Special Report 209, Third Edition - Transportation Research Board - National Research Council - Washington D.C., USA

HMSO, 1987 - *Roads and Traffic in Urban Areas, Her Majesty's Stationery Office* , London-U.K.

HMSO, 1996 - *The Highway Code*, Department of Transport, 99 pag. ISBN 0-11-551843-6, U.K.

Hoz C.; Pozueta J., 1995 - *Recomendaciones para el diseño de glorietas en carreteras sub-urbanas* - Consejería de Transportes / Direccion General de Carreteras - ISBN 84-451-0961-8, Edición EFECE Diseño Gráfico, S.L., Madrid - Espanha

ITE, 1992_b- *Use of Roundabouts* - ITE Technical Council Committee 5B-17 - ITE Journal Vol 62, Nº2, February

JAE, 1990 - *Norma de Intersecções*, JAE P5/90 Divisão de Estudos e Projectos da Junta Autónoma das Estradas, Edição JAE, Lisboa-Portugal

JAE, 1992- *Norma de Sinalização Vertical de Orientação*, JAE P13.1.1/92 Divisão de Estudos e Projectos da Junta Autónoma das Estradas, Edição JAE, Lisboa-Portugal

JAE, 1994 - *Norma de traçado JAE P3/94*; Divisão de Estudos e Projectos da Junta Autónoma das Estradas, Edição JAE Lisboa-Portugal

JAE, 1995 - *Norma de Marcas Rodoviárias JAE P3.1.2/95*; Divisão de Estudos e Projectos da Junta Autónoma das Estradas, Edição JAE, Lisboa-Portugal

Kimber, R.M. and Hollis, E.M. 1979- *Traffic Queues and Delays at Road Junctions* - TRRL Report Lr 909, ISSN 0305-1293, Crowthorne England

Kimber, R.M., 1980 - *The Traffic Capacity of Roundabouts* - Transport and Road Research Laboratory - TRRL Laboratory Report 942, ISSN 0305-1293, Crowthorne-England

Louah, G., 1992 - *Panorama Critique des Modèles Français de Capacité des Carrefours Giratoires* - CETE de L'Oueste, - Actes du Séminaire International “Giratoire 92”, pg. 213-228, Edition SETRA/CETUR, Octobre, Nantes-France

Maycock, G; Hall, R.D, 1984 - *Accidents at 4-arm roundabouts* - TRRL Report LR 1120

Menard J., 1992 - *Eclairage des Giratoires* - Service Physique du Laboratoire - Actes du Séminaire “Giratoire 92” Nantes-France

MOPU, 1989 - *Recomendaciones sobre Glorietas* - Tecnologia Carreteras - Textos de la Dirección General de Carreteras, Españã, Mayo

Nikolaus, H., 1992 - *Design, Installation and Operation of Small Roundabouts* - Actes du Séminaire International “Giratoire 92”, pg. 145-152, Edition SETRA/CETUR, Octobre, Nantes-France

Pereira A. J. Figueiredo, 1991 - *The definition of Classes of Vehicles and Influence in Traffic Signals Settings - Some Numeric Manipulation with Portuguese Data*; 23rd UTSG Annual Conference, GMA-FCUP, Universidade do Porto; January

Ribeiro, 1996 - *As técnicas de Acalmia de Tráfego na Promoção da Segurança e Melhoria do Ambiente Urbano*- Tese de dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana, Edição FCTUC, Setembro, Coimbra-Portugal

Seco, A.J.M., 1995; *Apontamentos de Gestão de Tráfego*; Mestrado em Engenharia Civil, especialidade Engenharia Urbana, Edição FCTUC, Coimbra-Portugal

Seim, K 1991; *Use, Design and Safety of small Roundabouts in Norway*. Proceedings of an International Workshop “Intersections Without Traffic Signals II”, Springer-Verlag Editor, July, Bochum-Germany

SETRA, 1984; - *Carrefours Giratoires* - Les Carrefour Plans sur Routes Interurbaines- Guide Technique, Service d’Etudes Techniques des Routes et Autoroutes, Septembre, Bagneux, France

SETRA, 1998 - *Aménagement des Carrefours Interurbains sur les routes principales - Carrefours plans* - Guide Technique, Service d’Etudes Techniques des Routes et Autoroutes, Bagneux, France, Decembre

Stuwe B., 1991 - *Capacity and Safety of Roundabouts in Germany* - Proceedings of an International Workshop “Intersections Without Traffic Signals II”, Springer-Verlag Editor, July, Bochum-Germany, pp. 1-12

Vanderputte J., 1992 - *Les Carrefours Giratoires em Belgique* - Actes du Séminaire International “Giratoire 92”, pp. 115-122, Edition SETRA/CETUR, Octobre, Nantes-France

Webb, P.J. and Taylor, M.C., 1992 - *U.K. Techniques for Predicting Roundabout Performance* - Transport Research Laboratory - Actes du Séminaire International “Giratoire 92”, pg. 201-210, Edition SETRA/CETUR, Octobre, Nantes-France

