

PROPOSTA DE CLAUSULADO NORMATIVO PARA O TRAÇADO DE ROTUNDAS

JOÃO DIOGO TEIXEIRA DE MENDONÇA MENDES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM VIAS DE COMUNICAÇÃO

Orientador: Professor Doutor Adalberto Quelhas da Silva França

JUNHO DE 2010

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Aos meus pais,

Viver não é apenas mudar, é continuar.

Pierre Leroux

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Adalberto Quelhas da Silva França, pela orientação do presente trabalho, pelo rigor, detalhe que deposita em todos os trabalhos, pelo material facultado, pelo acompanhamento, disponibilidade e pela atenção dispensada.

Aos professores da secção de Vias de Comunicação, pela amizade e pelas lições experientes que transmitem aos seus alunos, sem as quais não seria possível obter os conhecimentos necessários à concretização desta tese.

À minha família todo o apoio e o incentivo que sempre me deram ao longo da minha vida. São sem dúvida eles os principais responsáveis por tudo o que eu consegui alcançar até hoje.

À Tércia, por me ter apoiado, compreendido, motivado e acarinhado durante toda esta fase da minha vida, nem sempre fácil.

Por último deixo uma mensagem de agradecimento a todos os meus amigos e colegas de curso, que me acompanharam ao longo do meu percurso académico, e que certamente continuarão presentes no meu futuro, sem o apoio dos quais a realização deste trabalho não seria possível.

RESUMO

O presente trabalho, **PROPOSTA DE CLAUSULADO NORMATIVO PARA O TRAÇADO DE ROTUNDAS**, concretizado no âmbito da dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, **Especialização em Vias de Comunicação**, foi feito com base na exposição dos princípios metodológicos que lhe são inerentes e que regem a criação de intersecções giratórias, também denominadas de rotundas.

Esta breve dissertação incide sobre as características de funcionamento, tais como, a obrigatoriedade de cedência de passagem e a imposição de deflexões adequadas aos movimentos de atravessamento; as diferentes tipologias, destacando-se a rotunda normal, normal semi-galgável, mini rotunda, desnivelada e semaforizada e os seus potenciais de desempenho, bem como a descrição de elementos existentes numa rotunda, sendo estes, a largura do anel de circulação, largura de saída/entrada, raio de saída/entrada, ilhéu separador e a sua concepção. Por fim, este documento, descreve, ainda, sucintamente e de uma forma superficial, os tipos de sinalização utilizada em intersecções desta natureza (sinalização vertical e sinalização horizontal).

Com a finalidade de melhorar a circulação rodoviária (fluidez, capacidade e segurança) foram criadas estratégias através de estudos científicos, de carácter nacional e internacional, onde foram estabelecidas uma série de normas e critérios que contemplam os princípios de dimensionamento e regras práticas de apoio à concepção geométrica de rotundas que são analisadas, reflectidas e ponderadas ao longo do mesmo.

Palavras-chave: Normas, Geometria do traçado, Intersecções Giratórias, Rotundas,

ABSTRACT

This essay puts forward a series of regulations for the layout of roundabouts and is the thesis of a Master in Civil Engineering degree Specializing in Transport Infrastructures. It was based on intrinsic methodological principles regulating the design of circular roadway, also known as roundabouts.

This document covers the operating characteristics like, yielding to other traffic and the enforcement of adequate deflection at the crossings; the different types of roundabouts, with emphasis on the normal, the normal semi-traversable, the mini, the level and controlled roundabouts and their performance; as well as, the description of the existing elements in a roundabout which include the circulatory roadway, the entry and exit width and radii, the splitter island and its design. In addition, the signage (road signs and pavement markings) used at these junctions is described.

Aiming to improve road transport (in relation to fluidity, capacity and safety), strategies were created with the aid of national and international scientific studies. Throughout the essay, a series of regulations and criteria that contemplate the principles of dimension and rules of practical support of geometrical design of roundabouts were established, analyzed and thoroughly considered.

Keywords: Regulations, Layout geometry, Circular roadway junctions, Roundabouts

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1.INTRODUÇÃO	1
1.1 PERSPECTIVA HISTÓRICA	1
1.2 OBJECTIVOS	3
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	3
2.DOMÍNIO DE APLICABILIDADE DAS ROTUNDAS, TIPOLOGIAS, POTENCIAL DE DESEMPENHO	5
2.1 DEFINIÇÃO	5
2.2 TIPOS DE ROTUNDAS	5
2.2.1 ROTUNDA NORMAL.....	5
2.2.1.1 Características geométricas e funcionais.....	5
2.2.1.2 Princípio de funcionamento.....	6
2.2.1.3 Condições de aplicabilidade.....	6
2.2.2 ROTUNDA NORMAL SEMI-GALGÁVEL.....	6
2.2.2.1 Características geométricas e funcionais.....	6
2.2.2.2 Princípio de funcionamento.....	7
2.2.2.3 Condições de aplicabilidade.....	7
2.2.3 MINI ROTUNDAS.....	7
2.2.3.1 Características geométricas e funcionais.....	7
2.2.3.2 Princípio de funcionamento.....	8
2.2.3.3 Condições de aplicabilidade.....	8
2.2.4 ROTUNDAS DESNIVELADAS.....	8
2.2.4.1 Características geométricas e funcionais.....	8
2.2.5 ROTUNDAS SEMAFORIZADAS.....	10
2.2.5.1 Características geométricas e funcionais.....	10
2.2.5.2 Princípio de funcionamento.....	10
2.2.5.3 Aplicabilidade.....	10

2.3 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMENTO	11
2.4 CONDIÇÕES DE APLICABILIDADE DAS ROTUNDAS	14
2.4.1 GENERALIDADES	14
2.4.2 AMBIENTE RODOVIÁRIO	14
2.4.3 CONDIÇÕES DE CIRCULAÇÃO	16
2.4.4 NÚMERO E CARACTERÍSTICAS DAS VIAS INTERSECTADAS.....	16
2.4.5 SEGURANÇA E COMPORTAMENTO	16
2.4.6 CONDIÇÕES TOPOGRÁFICAS	17
2.4.7 AMBIENTE E URBANISMO	17
2.5 PRINCIPAIS DESVANTAGENS DA SOLUÇÃO ROTUNDA	17
3.PRINCÍPIOS BASE E REGRAS DE CONCEPÇÃO GEOMÉTRICAS	19
3.1 PRINCÍPIOS GERAIS DE DIMENSIONAMENTO	19
3.1.1 CRITÉRIO DA LEGIBILIDADE	19
3.1.2 CRITÉRIO DE AMENIDADE DE CIRCULAÇÃO (SEGURANÇA).....	19
3.1.3 CRITÉRIO DA GARANTIA DO NÍVEL DE SERVIÇO ADEQUADO.....	20
3.2 REGRAS GERAIS DE DIMENSIONAMENTO	20
3.2.1 INTRODUÇÃO.....	20
3.3 DIMENSIONAMENTO DAS ENTRADAS	20
3.3.1 NÚMERO DE VIAS.....	21
3.3.2 LARGURA DAS ENTRADAS	21
3.3.3 ÂNGULOS DE ENTRADA (ϕ)	22
3.3.4 RAIOS DE ENTRADA (R)	23
3.4 ILHÉU SEPARADOR	23
3.5 DEFINIÇÃO DE BERMAS E PASSEIOS	24
3.6 DISPOSIÇÃO DOS RAMOS AFLUENTES	25
3.7 ANEL DE CIRCULAÇÃO	25
3.8 DIMENSÃO GERAL DA ROTUNDA E ILHA CENTRAL	27
3.9 DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS	28
3.10 SOBREELEVAÇÃO	29
3.11 INCLINAÇÕES LONGITUDINAIS	29
3.12 VEÍCULO DE PROJECTO	31
3.13 VELOCIDADES DE ENTRADA	31

3.14 CRITÉRIOS DE VISIBILIDADE	32
3.14.1 CRITÉRIO DE VISIBILIDADE DE APROXIMAÇÃO.....	33
3.14.2 CRITÉRIO DE VISIBILIDADE DO ANEL.....	34
3.14.3 CRITÉRIO DA VISIBILIDADE DA ENTRADA	34
4.14.4 CRITÉRIO DE VISIBILIDADE DAS TRAVESSIAS PEDONAIS	35
3.15 DEFLEXÃO DOS MOVIMENTOS	35
3.16 CANALIZAÇÃO DOS MOVIMENTOS	36
3.17 VIA SEGREGADA DE VIRAGEM À DIREITA	37
3.18 ORDENAMENTO PARA PEÕES	38
3.19 ORDENAMENTO PARA CICLISTAS	39
3.20 INTEGRAÇÃO PAISAGÍSTICA E TRATAMENTO DA ILHA CENTRAL	39
3.21 ILUMINAÇÃO PÚBLICA	40
4.SINALIZAÇÃO	42
4.1 INTRODUÇÃO	42
4.2 SINALIZAÇÃO VERTICAL DE REGULAMENTAÇÃO E PRÉ-AVISO	43
4.3 SINALIZAÇÃO VERTICAL DE INFORMAÇÃO	44
4.4 SINALIZAÇÃO HORIZONTAL	45
5.CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
ANEXOS	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – “La Place de l’Etoile” [1]	3
Figura 2 - Rotunda Normal [2]	6
Figura 3 - Rotunda Galgável [3]	6
Figura 4 - Mini-rotunda materializada [3]	7
Figura 5 - Rotunda desnivelada [4]	9
Figura 6 – Rotunda desnivelada interligada por um viaduto [Bastos Silva, 2001]	9
Figura 7 - Rotunda Semaforizada [3]	10
Figura 8- Pontos de conflito em Cruzamentos Prioritários /Rotundas [apontamentos circulação e transportes 1]	11
Figura 9 - Velocidade do veículo na rotunda [adaptado de JACQUEMART, 1998]	12
Figura 10 – Atrasos em função carga de tráfego [adaptado de JACQUEMART, 1998]	13
Figura 11 – Redução do número de acidentes [IST]	13
Figura 12 - Colisões mais frequentes numa rotunda [Kansas Department of Transportation,2003]	14
Figura 13 – Localização dos ramos afluentes à rotunda (IST)	16
Figura 14 – Elementos geométricos existentes numa rotunda [PELLECUER e al, 2008]	21
Figura 15 – Largura mínima das vias [BASTOS SILVA, 2006]	22
Figura 16 – Processo para determinar o ângulo de entrada [BASTOS SILVA, 2006]	22
Figura 17 - Pormenor do ilhéu separador [INSTITUTO DE INFRA-ESTRUTURAS RODOVIÁRIAS]	24
Figura 18 – Polígono de localização do centro da rotunda [Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias]	25
Figura 19 – Elementos de rotunda [Departamento of Transport, 1993]	26
Figura 20 – Rotunda elipsoidal [3] Figura 21 – Rotunda alongada [3]	27
Figura 22 – Perfil transversal tipo de uma mini-rotunda [Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias]	28
Figura 25 – Planta da Rotunda [Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias]	30
Figura 26 – Pormenor da distância de visibilidade de aproximação [Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias]	33
Figura 27 – Critério de Visibilidade [Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias]	34
Figura 28 – Critério de visibilidade à entrada relativamente à sua esquerda [Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias]	34
Figura 29 – Critério de visibilidade das travessias pedonais [BASTOS SILVA, 2006]	35
Figura 30 - Rotunda com uma má deflexão [3]	35
Figura 31 – Rotunda com boa deflexão [3]	36

Figura 32 – Canalização dos movimentos [6]	37
Figura 33- Exemplo de rotunda com movimento de viragem à direita [4]	38
Figura 34 – Pormenor do rebaixamento do ilhéu [Department Of Transport,1993]	38
Figura 35 - Pista reserva a ciclistas []	39
Figura 36 – Tratamento da ilha central [Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias].....	40
Figura 37 - Zonas de invasão da ilha central na sequência de um despiste frontal [Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias].....	40
Figura 38 - Sinais de rotunda [DGV, 2003]	43
Figura 39 - Sinalização vertical de rotunda – exemplo de arruamento [ALMEIDA ROQUE, 2007] ...	44
Figura 40 – Alguns exemplos de sinais verticais informativos [DGV, 2003]	45
Figura 41 – Tipo de marcas horizontais (M9 e M9a) [Ameida Roque,2007]	46

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Número de acidentes por ano [IST].....	13
Quadro 2 - Zonas inter-urbanas [quadro elaborado pelo autor].....	15
Quadro 3 – Zonas urbanas [BASTOS SILVA,2006].....	15
Quadro 4 – Larguras necessárias para rotundas compactas e normais [Departmen of Transport, 1993]	26
Quadro 5- Velocidades máximas de entrada	32
Quadro 6 - Distâncias de Visibilidade de Paragem.....	33
Quadro 7- Distancias de visibilidade do anel [Department Of Transport,1993]	34

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

CE - Código de estrada

DCI - Diâmetro círculo inscrito

DGV - Direcção geral de viação

DP - Distância de visibilidade de paragem

EN - Estradas nacionais

EM - Estradas municipais

ER - Estradas regionais

fl - coeficiente de aderência longitudinal

ft - coeficiente de aderência transversal

i – inclinação

JAЕ – Junta Autónoma de Estradas

IC - Itinerário Complementar

IP - Itinerário Principal

R - Raio

RST - Regulamento de sinais de trânsito

Wd - Resistência específica do movimento

ϕ - Ângulo de entrada

1

INTRODUÇÃO

1.1 PERSPECTIVA HISTÓRICA

Perspectivar a historiografia das rotundas é fazer um longo percurso através dos tempos e não encontrar uma raiz. Desde os primórdios que os círculos faziam parte dos embelezamentos urbanísticos das localidades, mesmo antes da funcionalidade que adiante veremos em relação ao automóvel.

Dizemos embelezamento porque este seria prioritário de modo que esses lugares mais amplos fossem aproveitados para que os arquitectos dessem largas à sua imaginação e nelas projectassem um “términus” de 2 ou mais avenidas e ruas, não olhando ao fluir dos veículos antes à monumentalidade das suas “obras de arte”.

Não podemos deixar de referir o sentido pejorativo das mesmas, ainda nos nossos dias, como forma de exibição humana, e que, faz parte do nosso cognitivo colectivo “...está na rotunda”.

As rotundas como locais de convergência de estradas e grandes avenidas remontam ao urbanismo dos finais da Idade Média como forma mais sofisticada de uma “urbe moderna”.

Com o aparecimento do automóvel em finais do século XIX e mais propriamente nas primeiras décadas do século passado começaram a surgir as rotundas, não só pelas razões estéticas mas com uma função já mais próxima da dos nossos dias, o fluir do tráfego.

Assim, em muitas cidades da Europa e Estados Unidos da América, as rotundas estão associadas sempre, a grandes avenidas e confluência de estradas, depois que o arquitecto francês Hénard desenvolveu o conceito destas em função de melhor ordenamento de tráfego. Hénard veio disciplinar a concepção das rotundas mediante a imposição de algumas alterações.

A construção de rotundas ou intersecções giratórias como focos de convergência radial de grandes avenidas remonta à Idade Média, muito antes do aparecimento do veículo automóveis, tendo sido particularmente populares no século XIX em muitas cidades da Europa e Estados Unidos da América. A função de gestão da circulação apenas lhe é atribuída no início do Século XX, quando o arquitecto francês Hénard, desenvolveu conceito de “rotunda” associado a grandes avenidas, mediante a imposição de algumas alterações:

1ª Grande alteração – definição do SENTIDO ÚNICO, que surge pela 1ª vez em França com o projecto da “Place de L’Etoile” (figura 1);

2º Grande alteração – Inicialmente a prioridade era dada ao tráfego que entrava na rotunda (prioridade à direita). Só em 1966, após inúmeras experiências, se tornou obrigatória, no Reino Unido, a prioridade ao tráfego que circula no interior.

A utilização inicial das regras (prioridade à direita) de rotundas levou a que muitos países do mundo conduzissem ao abandono das rotundas durante a década de 20. A sucessiva paragem dos veículos no interior da intersecção, impunha grandes demoras na circulação resultando muitas vezes no bloqueio global da rotunda. O sistemático aumento dos níveis de tráfego exigia maiores capacidades das rotundas o que com este tipo de funcionamento só era possível de obter através do aumento das zonas de entrecruzamento e, por consequência, do aumento geral da sua dimensão. Os condicionalismos de espaço existentes na generalidade das situações, obrigou à procura de soluções alternativas.

A regra da prioridade a quem circula pela direita nasce em Inglaterra, em 1967, obrigando todos os veículos na aproximação das entradas, a cederem a prioridade aos que circulam no interior da rotunda. Tal regra veio proporcionar resultados extremamente positivos quer ao nível da capacidade quer da sinistralidade estando na base de uma nova filosofia de concepção de rotundas. As soluções passam a poder ser bastante compactas, com a capacidade de cada entrada a depender fundamentalmente da geometria da entrada, e o seu funcionamento a passar a ser comparável a uma sucessão de cruzamentos em “T”.

Estes resultados suscitaram o interesse de diferentes países da Europa bem como da Austrália e Nova Zelândia, os quais adoptaram o referido conceito e de imediato apostaram no desenvolvimento de diversos estudos de investigação e na elaboração de manuais de 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 inter-urbanas.

Em 1994, a revisão do Código da Estrada, institucionalizou a regra de “prioridade ao anel” e a JAE (actualmente EP) integrou nas normas de intersecções, regras práticas de concepção de rotundas. Essas regras fortemente baseadas nas normas francesas do SETRA, mostraram ser incompletas e, por vezes, desajustadas à realidade nacional, o que justificou a elaboração de outros documentos técnicos de apoio ao seu dimensionamento. Documentos esse que foram realizados pelo Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (FCTUC).



Figura 1 – “La Place de l’Etoile” [1]

1.2 OBJECTIVOS

Este trabalho tem como principal objectivo a elaboração de Normas de Traçado a aplicar em intersecções giratórias, através da pesquisa e revisão bibliográfica das normas existentes, quer em Portugal, quer noutros países. Posteriormente e, após a recolha e tratamento de dados e das informações obtidas, pretende-se elaborar as directrizes para o traçado de rotundas quer em planta, quer nas suas vertentes de perfil longitudinal ou transversal, sempre com o objectivo primordial de garantir, na sua plenitude, a segurança e a minimização da incomodidade.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em 5 capítulos. No primeiro capítulo **Introdução** está incluída a Perspectiva Histórica onde se faz uma alusão à evolução histórica das rotundas ao longo dos anos, bem como, os respectivos objectivos.

No capítulo 2, **Domínio de Aplicabilidade das Rotundas, Tipologias, Potencial de Desempenho**, expõem-se as características de funcionamento, as diversas tipologias e o potencial de desempenho das rotundas.

No capítulo 3, **Princípios Base e Regras de Concepção Geométricas**, descrevem-se os elementos existentes numa rotunda e a sua forma de concepção.

No capítulo 4, **Sinalização** esta é abordada de uma forma muito breve e sucinta, visto que não pertencem aos objectivos principais do trabalho os tipos de sinalização existente numa intersecção deste tipo.

Por fim no capítulo 5, **Conclusão**, apresentam-se as conclusões alcançadas após final do trabalho.

2

Domínio de Aplicabilidade das Rotundas, Tipologias, Potencial de Desempenho

2.1 DEFINIÇÃO

Entende-se por Intersecção Giratória (vulgarmente designada por 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, assumido como prioritário em relação aos fluxos de chegada.

2.2 TIPOS DE ROTUNDAS

Nesta secção são apresentados os diferentes tipos de rotundas com aplicabilidade em Portugal, caracterizando-as, quer no que concerne ao seu modo de funcionamento e principais características geométricas, quer ao nível do seu domínio de aplicação.

2.2.1 ROTUNDA NORMAL

2.2.1.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E FUNCIONAIS

A rotunda normal corresponde à maioria das rotundas inseridas nas redes rodoviárias e são caracterizadas pela existência de uma ilha central com diâmetro igual ou superior a 4m e de diâmetros do círculo inscrito (DCI) superiores a 28m (Figura 2). Podem dispor de uma ou mais vias de circulação no anel, no qual é estabelecido um sentido único de circulação. A ilha central apresenta geralmente uma forma circular, embora sejam igualmente aceitáveis formas ovais, simplesmente alongadas ou elipsoidais de pequena excentricidade. A sua concepção geométrica deve reger-se por princípios de dimensionamento que permitam a circulação de todo o tipo de veículo sem galgamento ou transposição da ilha central.



Figura 2 - Rotunda Normal [2]

2.2.1.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

O anel de circulação deve acomodar as necessidades de operacionalidade de qualquer veículo, sem recorrer à transposição da ilha central.

2.2.1.3 CONDIÇÕES DE APLICABILIDADE

A aplicação deste tipo de rotunda é muito vasta. É o tipo de rotunda mais frequentemente utilizado no nosso país e na Europa. Esta solução implica a existência de uma área grande para a sua implantação.

2.2.2 ROTUNDA NORMAL SEMI-GALGÁVEL

2.2.2.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E FUNCIONAIS

A aplicação da rotunda galgável mostra-se especialmente eficaz mediante fluxos de veículos pesados pouco significativos e sempre que, por razões de segurança, se torne fundamental garantir a moderação e controlo das velocidades dos veículos ligeiros.



Figura 3 - Rotunda Galgável [3]

2.2.2.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

O anel de circulação deve ser dimensionado com base nas exigências de circulação dos veículos ligeiros, podendo os veículos longos recorrer a faixa galgável que contorna a ilha central.

2.2.2.3 CONDIÇÕES DE APLICABILIDADE

Quando a percentagem de pesados é pouco significativa, pretende enfatizar a deflexão dos movimentos dos veículos ligeiros.

2.2.3 MINI ROTUNDAS

2.2.3.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E FUNCIONAIS

A mini-rotunda, embora sem grande aplicabilidade em Portugal, constitui um tipo de solução muito utilizada noutros países, nomeadamente em Inglaterra e Austrália, na resolução de pontos de conflito, em cruzamentos já existentes localizados em zonas com pouca procura de tráfego e onde as velocidades de circulação são reduzidas.

A mini-rotunda é caracterizada pela existência de uma ilha central galgável, com diâmetro inferior a 4m e por DCI entre 14 e 28m. A ilha central pode ser materializada em relação ao anel de circulação.

Aceita-se que a ilha central possa ser materializada sempre que o DCI seja superior a 18m. A materialização das ilhas centrais é normalmente conseguida através da colocação de um disco em forma de cúpula, revestido com um material garanta um contraste visual em relação ao anel de circulação ver (Figura 4).

Neste tipo de rotunda não é aceitável, a colocação de qualquer dispositivo no seu interior, tais como, sinais de trânsito, postes de iluminação ou mobiliário urbano.



Figura 4 - Mini-rotunda materializada [3]

A ilha central ainda pode ser delimitada no pavimento e pintada na sua totalidade por tinta branca reflectora ou ainda pela demarcação de anéis concêntricos.

São soluções mais compactas que as anteriores, apresentando DCIs compreendidos entre 14 e 18m. Face às suas reduzidas dimensões é inevitável que até os veículos ligeiros tenham, em algumas manobras, de galgar a ilha central, sendo quase sempre transposta pelos veículos pesados.

2.2.3.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Ilha central materializada

Nestas soluções a faixa de circulação deverá ser suficiente para acomodar as necessidades de manobra dos veículos ligeiros enquanto que os pesados normalmente necessitarão de galgar a ilha central ligeiramente elevada.

Ilha central pintada

São soluções mais compactas que as anteriores. Face às suas reduzidas dimensões é inevitável que até os veículos ligeiros tenham, em algumas manobras, de galgar a ilha central, sendo quase sempre transposta pelos veículos pesados.

2.2.3.3 CONDIÇÕES DE APLICABILIDADE

Pelas suas dimensões e modo de funcionamento, a sua implantação deve ser limitada a locais com reduzidos fluxos de tráfego e onde o volume de viragens à esquerda e de inversão de marcha, sejam pouco significativos.

Pelo reduzido espaço que ocupam, as mini-rotundas, adaptam-se particularmente bem no reordenamento de cruzamentos existentes com grandes restrições de espaço, sendo contudo de evitar em novas ligações.

Por outro lado as mini-rotundas apresentam um tipo de funcionamento compatível com reduzidas velocidades de circulação, recomendando-se mesmo a adopção de restrições físicas à infra-estrutura, tais como medidas de acalmia de tráfego que imponham a prática de velocidades inferiores a 40-50km/h nas vias de acesso. São evitar em vias onde se privilegie a função de circulação tais como as vias estruturantes urbanas e as vias inter-urbanas, sendo o seu campo de aplicação limitado a ramais de acesso e a vias com a função principal de acesso.

Pelas dificuldades de contorno impostas aos veículos de maiores dimensões, a sua implantação deve limitar-se a locais onde a presença de veículos pesados seja esporádica. Daí que a sua aplicação seja frequentemente recomendada para zonas residenciais, onde a mini-rotunda possa funcionar como um instrumento de moderação da velocidade.

2.2.4 ROTUNDAS DESNIVELADAS

2.2.4.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E FUNCIONAIS

Consistem em soluções desniveladas às quais estão associadas uma ou mais rotundas para as quais são encaminhados os movimentos da via secundária e de mudança de direcção. As formas geométricas mais comuns caracterizam-se pela existência de um atravessamento desnivelado conjugado ou com uma rotunda de grandes dimensões (Figura 5) ou com duas rotundas compactas interligadas por um viaduto central (Figura 6). O seu desempenho depende do funcionamento global da intersecção, pelo que cuidados acrescidos deverão ser tomados ao nível da capacidade quer da rotunda quer dos ramos de acesso, procurando evitar-se que a formação de eventuais filas de espera nas entradas da rotunda origine o bloqueio de alguma saída e conseqüentemente da via prioritária.

O dimensionamento dos elementos de nível deste tipo de solução rege-se pelos mesmos princípios aplicáveis a qualquer rotunda de nível.

ROTUNDA DESNIVELADA DE GRANDES DIMENSÕES

Caracteriza-se pela existência de uma rotunda de grandes dimensões para o qual será canalizado os movimentos das vias secundárias e os de mudança de direcção a partir da via principal. A solução envolve a construção de duas obras de arte, resultando numa significativa ocupação de espaço, constituindo portanto uma solução economicamente dispendiosa. Face às suas normais dimensões, constituem soluções onde os níveis de sinistralidade são tendencialmente mais elevados em relação a outros tipos de rotundas, como resultado directo da prática de maiores velocidades de circulação. O seu projecto geométrico deve, assim, orientar-se no sentido de procurar elaborar soluções o mais compactas possíveis ver (Figura 5).



Figura 5 - Rotunda desnivelada [4]

ROTUNDA COMPACTA INTERLIGADA POR UM VIADUTO CENTRAL

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. 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 exige a construção de uma única obra de arte, pelo que poderá resultar numa solução mais vantajosa do que a anterior quer do ponto de vista económico e quer da ocupação de espaço.



Figura 6 – Rotunda desnivelada interligada por um viaduto [Bastos Silva, 2001]

2.2.5 ROTUNDAS SEMAFORIZADAS

2.2.5.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E FUNCIONAIS

Esta solução é utilizada quando existe um desequilíbrio dos fluxos afluentes nos diferentes ramos, ou mesmo de crescimentos imprevisíveis de um determinado movimento direccional poderão ser resolvidos por recurso a sistemas semafóricos. O sistema poderá controlar todos ou apenas alguns dos ramos afluentes, e poderá ser permanentemente activado ou incidente em apenas alguns períodos do dia.

Por norma um cruzamento regulado por um sistema de semaforizado, mesmo que a sua forma seja semelhante a uma rotunda, não deve ser considerada como tal.



Figura 7 - Rotunda Semaforizada [3]

2.2.5.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

A regulação da acessibilidade e circulação na rotunda é durante grande parte do tempo regulada por sinais luminosos.

2.2.5.3 APLICABILIDADE

A complexidade geométrica e de funcionamento característica desta solução, está na base da limitação da sua aplicabilidade a zonas urbanas ou inter-urbanas.

São vantajosas na resolução de problemas de capacidade de rotundas que apresentem dificuldades de funcionamento em apenas alguns dos ramos afluentes ou que, na presença de fortes oscilações horárias, justifiquem a sua activação em determinados períodos do dia. Pode ainda justificar-se a sua semaforização 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.

2.3 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DE FUNCIONAMENTO

As rotundas, quando confrontadas com outro tipo de intersecção tradicional de nível, apresentam uma forma de funcionamento extremamente simples e de fácil compreensão pelos condutores, mesmo os menos habituais. A obrigatoriedade de cedência de passagem imposta aos movimentos de entrada e a imposição de deflexões adequadas aos movimentos de atravessamento, contribuem significativamente para a diminuição e homogeneização dos espectros de velocidade dos diferentes utentes.

A utilização de intersecções giratórias em detrimento de outros tipos de cruzamento, deve-se ao facto de, com esta solução ser possível alcançar ganhos de segurança, que se traduz na redução do número e da gravidade dos acidentes, diminuição do número de potenciais conflitos, o tráfego escoar melhor, contribuem para reduzir as emissões de gases e de ruído, especialmente se comparadas com os cruzamentos com semáforos. Esse fenómeno deve-se fundamentalmente à redução e simplicidade dos pontos de conflito bem como à alteração comportamental do condutor através de uma diminuição e homogeneização dos perfis de velocidade. No entanto, com tráfego intenso e rápido, e particularmente em rotundas com duas ou mais vias, exigem ao condutor uma rapidez de decisão, boa visão periférica e capacidade de antecipar manobras bruscas dos outros condutores. Infelizmente, muitos condutores assumem estratégias diferentes de abordagem e circulação que levam a conflitos e a acidentes que ocorrem especialmente na fase de saída da rotunda.

A rotunda pode ser considerada uma escolha lógica, se a sua operacional for superior do que os outros tipos de intersecções. As rotundas podem ser implementadas para proporcionar uma melhoria operacional em um cruzamento para reduzir os conflitos e / ou aumentar a capacidade de um cruzamento. Normalmente as rotundas são limitadas apenas pelo número de ramos afluentes, disponíveis suficientes para os veículos de entram no cruzamento.

Permitem vários veículos a uma entrada simultânea em diferentes abordagens, que pode proporcionar benefícios adicionais e reduções de capacidade de atraso sobre algumas formas de cruzamento, principalmente nas viragens à esquerda.

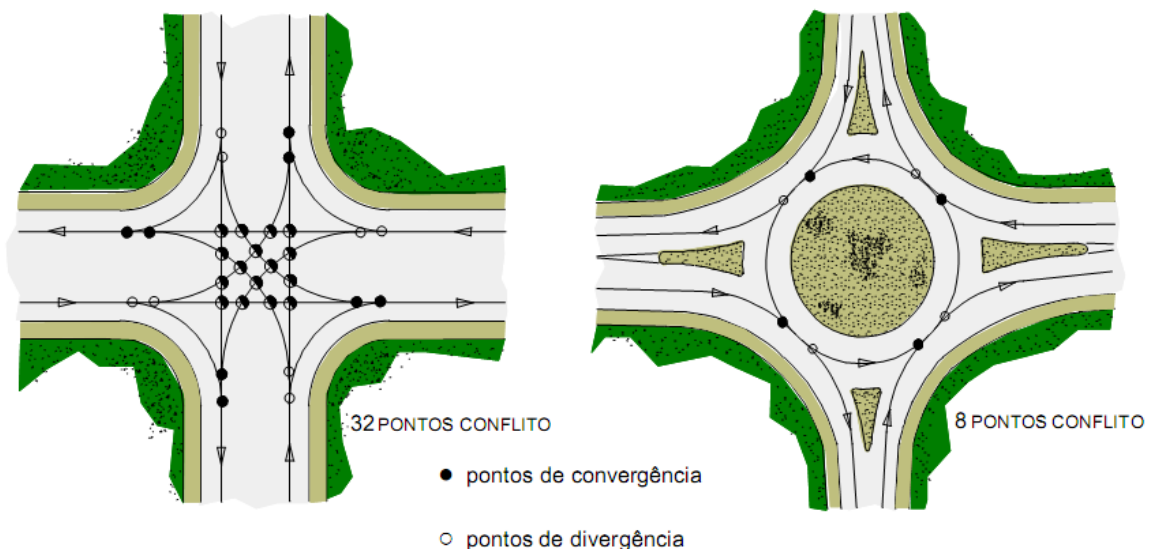


Figura 8- Pontos de conflito em Cruzamentos Prioritários /Rotundas [apontamentos circulação e transportes 1]

Comparativamente ao cruzamento prioritário, a diminuição 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 8) e na eliminação dos conflitos secantes (“em cruz”) aos quais estão associados os acidentes mais graves. Por outro lado, a natural tendência de diminuição de velocidade durante a entrada e atravessamento reverte-se numa diminuição significativa do número e da gravidade dos acidentes. Este perfil padrão de velocidades está ainda normalmente associado a uma maior receptividade, por parte do condutor, para a cedência de passagem quer à entrada da rotunda quer relativamente aos atravessamentos pedonais formais.

Para assegurar um bom funcionamento da rotunda é necessário assegurar que os fluxos de chegada sejam da mesma ordem de grandeza, uma vez que, neste tipo de intersecções nenhuma das entradas é favorecida. Em contrapartida, usufruem de uma grande vantagem nas intersecções em que os movimentos de inversão de marcha e viragens à esquerda têm uma importância significativa.

Para além das vantagens enumeradas, as rotundas também têm relevante importância em termos paisagísticos e ambientais. Os arranjos da ilha central permitem integrar-se facilmente na paisagem, e a prática de velocidades reduzidas e o conseqüente controlo de arranques e travagens, diminuem os índices de poluição ambiental e acústica.

Os principais benefícios que podem ser alcançados com a realização de uma rotunda são:

- Moderação da velocidade de circulação;

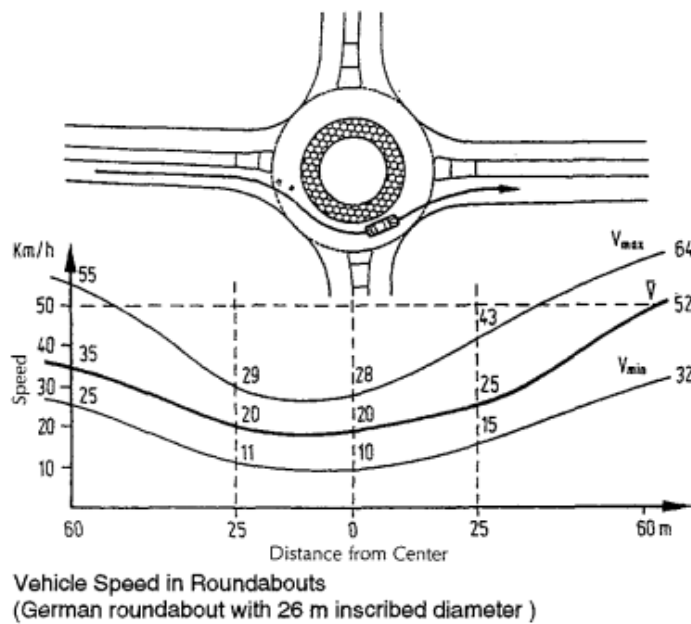


Figura 9 - Velocidade do veículo na rotunda [adaptado de JACQUEMART, 1998]

- Ganhos de capacidade e fiabilidade;

- Diminuição do tempo de espera;

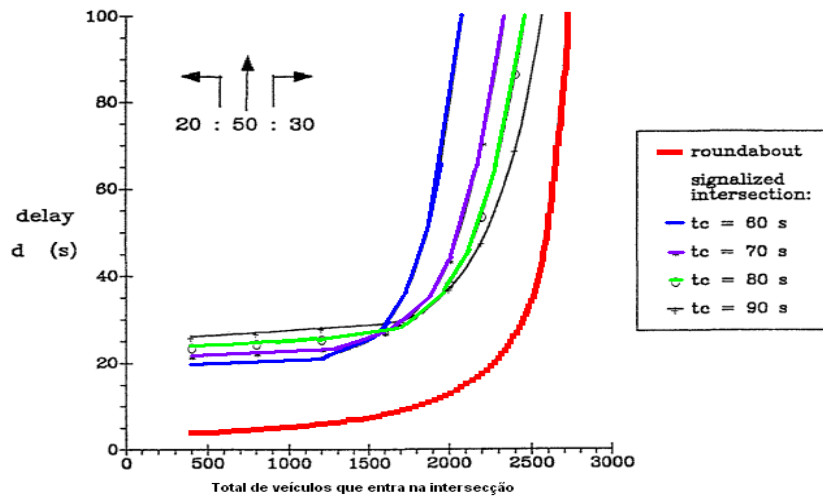


Figura 10 – Atrasos em função carga de tráfego [adaptado de JACQUEMART, 1998]

- Redução da poluição atmosférica e sonora;
- Ganhos de segurança;

Quadro 1 - Número de acidentes por ano [IST]

		Antes	Depois	Red. (%)
Nº total de acidentes	EUA	9.3	5.9	37%
	Holanda	4.9	2.4	51%
	Austrália	3.9	2.3	41%
Nº total de acidentes com vítimas	EUA	2.0	0.5	75%
	Holanda	1.3	0.4	72%
	Austrália	1.2	0.5	55%
	França	1.6	0.3	81%

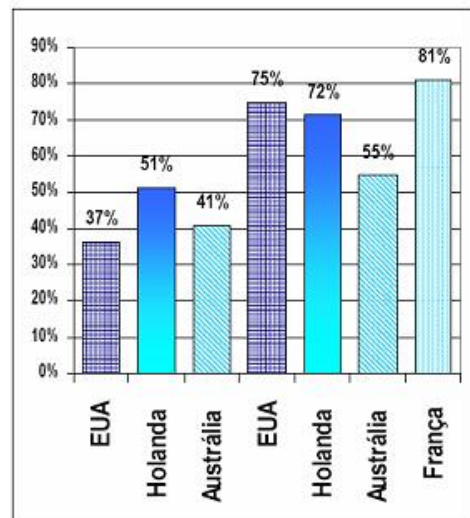


Figura 11 – Redução do número de acidentes [IST]

- Flexibilidade e facilidade de integração em praças urbanas;
- Tendência de redução de velocidade durante a entrada e atravessamento;
- Melhor solução em intersecções com mais de quatro ramos.

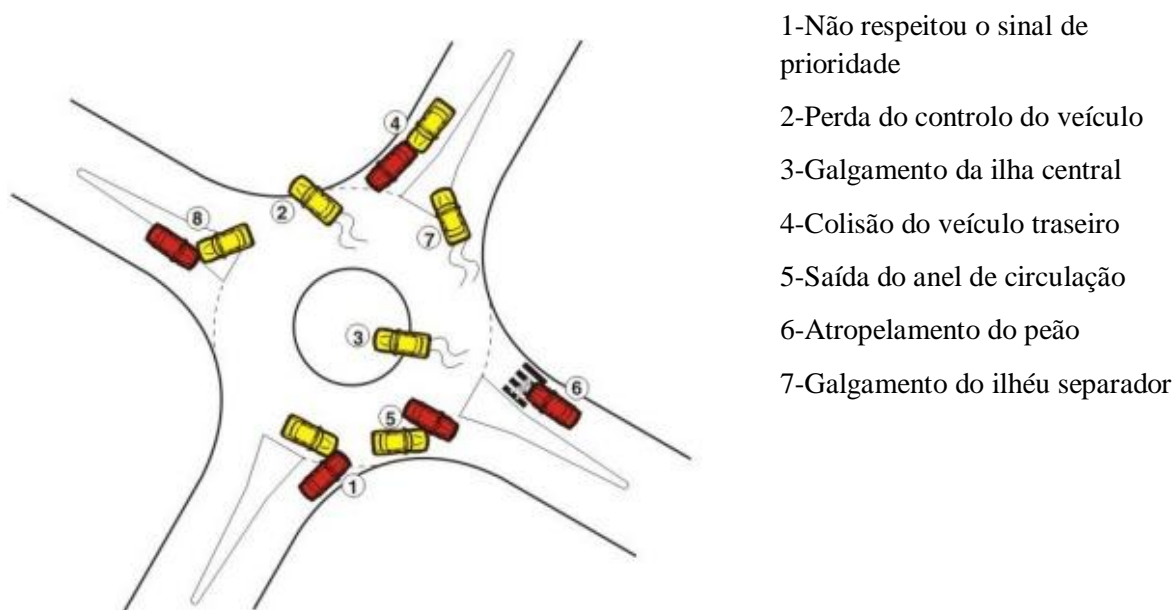


Figura 12 - Colisões mais frequentes numa rotunda [Kansas Department of Transportation,2003]

2.4 CONDIÇÕES DE APLICABILIDADE DAS ROTUNDAS

2.4.1 GENERALIDADES

Nas suas diferentes formas, as rotundas apresentam uma vasta gama de aplicação sendo muitas vezes consideradas como soluções de uso generalizado. A experiência internacional mostra, no entanto, que a rotunda, enquanto solução aplicada à regulação de intersecções, assume diferentes níveis de desempenho em função das condições locais prevalentes já que o ambiente envolvente, o tipo de vias intersectadas bem como as características do tráfego afluente, interferem significativamente no desempenho global da intersecção.

2.4.2 AMBIENTE RODOVIÁRIO

As rotundas adaptam-se bem a zonas urbanas e inter-urbanas, sendo particularmente indicadas nas zonas de transição, ou seja, na entrada em zonas urbanas ou zonas residenciais, uma vez que, nestes locais é necessário induzir aos condutores alterações do comportamento, nomeadamente redução da velocidade de circulação.

A simplicidade geométrica deste tipo de solução permite resolver os conflitos de espaços geometricamente complexos e irregulares, sem que tal ponha significativamente em causa o funcionamento normal da intersecção ou a sua legibilidade.

Em meio inter-urbano (ver Quadro 2) a implantação de soluções de nível deve, nas estradas nacionais (EN), regionais (ER) e municipais (EM), ser preferencialmente condicionada aos troços cujas características imponham uma natural moderação da velocidade de circulação. Os troços sujeitos a velocidades médias de aproximação superiores a 50km/h, devem ser sujeitos a reformulações que induzam os condutores a alterarem o seu comportamento através de medidas de acalmia de tráfego. Este tipo de solução, com a possível excepção das rotundas desniveladas, não será normalmente a mais adequada para a ligação entre itinerários principais (IP's) e/ou complementares (IC's), onde,

genericamente se pretende que existam soluções particularmente cómodas, rápidas e isentas de conflitos, sendo muitas vezes recomendável a adopção de outros tipos de soluções desniveladas.

Quadro 2 - Zonas inter-urbanas [quadro elaborado pelo autor]

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

(N - não adequado; A- adequado na maioria dos casos; a- adequado em alguns caos)

(Rn- Rotunda de nível; Rd- Rotunda desnivelada)

Já em zonas urbanas (ver Quadro 3), a rotunda de nível, por impor atrasos a todos os movimentos, adapta-se bem ao cruzamento de vias onde prevalece a função de acessibilidade. Contudo, devido ao seu elevado nível de capacidade potencial, a sua aplicação também se revela vantajosa em muitas intersecções de vias onde prevalece a função de mobilidade, apresentando assim um espectro de aplicabilidade muito vasto.

Quadro 3 – Zonas urbanas [BASTOS SILVA,2006]

	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)

(N - não adequado; A- adequado na maioria dos casos; a- adequado em alguns caos)

(Rn- Rotunda de nível; Rd- Rotunda desnivelada)

2.4.3 CONDIÇÕES DE CIRCULAÇÃO

Genericamente as rotundas podem apresentar níveis de capacidade semelhantes aos assegurados pelas intersecções semaforizadas, pelo que constituem entre si alternativas de regulação.

As rotundas são contudo soluções menos flexíveis que as semaforizadas, já que apresentam um modo de funcionamento “passivo” no tempo.

Os cruzamentos onde os movimentos de inversão de marcha e de viragem à esquerda assumem importâncias consideráveis, são as que mais beneficiam das vantagens das rotundas, sendo mesmo as únicas soluções de níveis que acomodam com facilidade as inversões de marcha.

2.4.4 NÚMERO E CARACTERÍSTICAS DAS VIAS INTERSECTADAS

As rotundas adaptam-se particularmente bem à resolução de pontos conflitos entre 3 ou 4 ramos afluentes. No entanto, obtêm-se ainda ordenamentos simples face a mais de 4 ramos afluentes, embora tal situação possa obrigar à adopção de soluções de maior dimensão. Alguns autores defendem mesmo que se deve evitar a adopção de rotundas que obriguem à articulação de mais de 6 ramos afluentes (SETRA, 1998). Os ramos afluentes às rotundas devem, preferencialmente, ser dispostos de uma forma regular em torno da ilha central fazendo entre si ângulos semelhantes. É, no entanto, aceitável a existência de um ligeiro descentramento dos ramos secundários, desde que, o mesmo seja imposto para esquerda, de forma a evitar criação de entradas tangenciais (ver figura 13). Quanto maior for a distância entre as entradas consecutivas ou quanto maior o ângulo de entrada, menor probabilidade de acidentes.

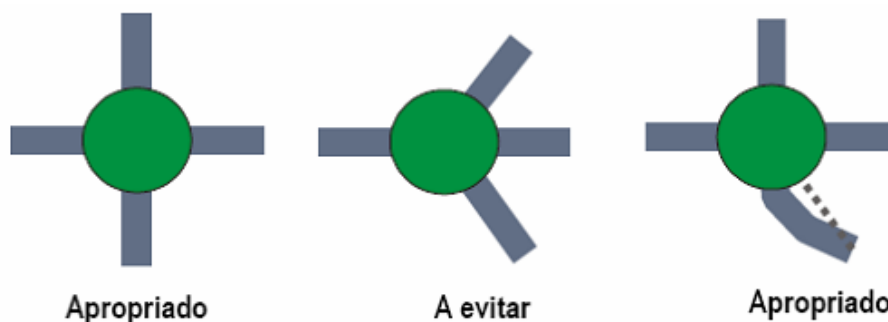


Figura 13 – Localização dos ramos afluentes à rotunda (IST)

A definição do número de vias a disponibilizar na rotunda depende do critério de dimensionamento a privilegiar. Por razões de segurança deve-se procurar providenciar o número de vias que responda às exigências da procura de tráfego local.

2.4.5 SEGURANÇA E COMPORTAMENTO

A transformação de um cruzamento prioritário em rotunda diminui os habituais 32 pontos de conflitos para 8 pontos de conflito respectivamente, o que vai originar numa redução do número de acidentes situando-se em média as taxas de redução próximas dos 40%. Sendo essa redução ainda mais significativa quando se fala em acidentes com feridos, atingindo em média de 70% sendo os acidentes mortais praticamente eliminados.

As rotundas são soluções recomendáveis quando se pretende promover uma amenidade de circulação (acalmia de tráfego).

São utilizadas no reordenamento de cruzamentos prioritários, com o objectivo de aumentar o nível de segurança, capacidade dos movimentos de atravessamento, viragens à esquerda.

2.4.6 CONDIÇÕES TOPOGRÁFICAS

A implantação das rotundas devem se situar em locais totalmente visíveis, para que seja notória desde a sua longínqua aproximação.

Deve ser desincentivada a implantação de rotundas em zonas longitudinalmente inclinadas e sempre que essa hipótese se tornar inevitável devem ser garantidas as condições de visibilidade e facilidade de entrada.

A experiência internacional no domínio da segurança mostra que os acidentes em rotundas são maioritariamente associados à perda de controlo na zona da entrada em resultado da prática de velocidades excessivas na aproximação. O reconhecimento atempado da existência da rotunda depende, em grande medida, da adequação do local onde foi inserida, nomeadamente dos níveis de visibilidade e legibilidade assegurados, pelo que importa salvaguardar bons níveis de visibilidade desde a sua longínqua aproximação. As zonas planas ou em depressão não muito acentuada poderão tornar-se as ideais à implantação da rotunda, enquanto que a sua inserção em curvas verticais convexas poderá resultar em zonas de percepção deficiente. A implantação das rotundas é preferível em aterro do que em escavação, não só pelas questões de visibilidade já referidas, mas ainda por facilidade de drenagem.

2.4.7 AMBIENTE E URBANISMO

Uma rotunda nos tempos de hoje é cada vez mais associada a um monumento, o que constitui um elemento de valorização urbana. Os arranjos paisagísticos da ilha central da rotunda por vezes têm algumas vantagens, quando bem concebidos, podem contribuir para uma chamada de atenção da solução que vão encontrar. É necessário, no entanto, cuidar que estes arranjos não prejudicam a visibilidade requerida para quem chega a qualquer das entradas, ou constituem obstáculos rígidos e perigosos em caso de acidente. Actualmente as Estradas de Portugal proíbem a existência de objectos no interior da rotunda.

A sua implantação está também associada a benefícios ambientais, através da diminuição da poluição ambiental e da diminuição dos níveis acústicos.

2.5 PRINCIPAIS DESVANTAGENS DA SOLUÇÃO ROTUNDA

Apesar da sua fácil inserção e do seu vasto domínio de aplicação, as rotundas não podem ser encaradas como solução de uso generalizado. A sua adaptação às condições de circulação pode obrigar a uma considerável ocupação de espaço, nem sempre disponível, principalmente em zonas urbanas consolidadas.

A rotunda não permite estabelecer hierarquias viárias, pelo que não permite favorecer um determinado movimento direccionado ou modo de transporte, como por exemplo, os transportes públicos ou veículos prioritários. A sua utilização como estratégia dissuasora à utilização de um determinado itinerário pode não constituir a medida mais eficaz, particularmente quando comparada com os sistemas semaforicos que permitem ajustar tempos de espera 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, pondo em causa a estratégia integrada de coordenação. 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.

3

Princípios Base e Regras De Concepção Geométricas

3.1 PRINCÍPIOS GERAIS DE DIMENSIONAMENTO

A valorização diferenciada dos diferentes critérios de dimensionamento a privilegiar na sua geometria, depende de diversos factores e, em particular, as características específicas de cada local e dos objectivos pré-estabelecidos, sendo que as soluções com uma única via de circulação atingem tendencialmente maiores níveis de segurança do que as soluções com múltiplas vias. Contudo o recurso às múltiplas vias de circulação apresenta-se como a estratégia de intervenção mais eficiente sempre que se pretenda garantir elevados níveis de capacidade.

A definição de cada solução geométrica deve-se ter em atenção um conjunto de princípios básicos de projecto traduzidos em princípios legibilidade, de segurança e amenidade de circulação e de fluidez e capacidade.

3.1.1 CRITÉRIO DA LEGIBILIDADE

“Todo o ordenamento geométrico deverá ser perceptível com alguma antecedência e facilmente legível por qualquer condutor, induzindo-o a deflectir a sua trajectória e a optar por variações de velocidade e de comportamento compatíveis com a geometria da intersecção. Tais condições resultam geralmente na necessidade de adoptar geometrias simples, fáceis de compreender e de utilizar por parte dos condutores. O que permitirá um reconhecimento rápido e intuitivo do tipo de solução existente, e do modo como o condutor se deve comportar, minimizando as hesitações”.[BASTOS SILVA e al, 2006]

3.1.2 CRITÉRIO DE AMENIDADE DE CIRCULAÇÃO (SEGURANÇA)

“Assenta na concepção de geometrias capazes de impor significativas reduções de velocidade durante as fases de negociação e entrada na rotunda, através da imposição de condicionalismos físicos ao comportamento do condutor. Esse condicionalismo depende do traçado e das condições de visibilidade na aproximação, da localização da ilha central e dos ilhéus separadores e da qualidade da deflexão imposta aos movimentos de entrada. Em termos geométricos, este princípio resulta na procura de soluções compactas, se viável, com uma única via e restritivas ao comportamento do condutor, mediante o traçado adequado das entradas e a eliminação de sobrelarguras desnecessárias. Este princípio 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 noutras situações pode transparecer como condicionante dominante da solução

(*é o caso das soluções voltadas predominantemente para a acalmia de tráfego*) ”.[BASTOS SILVA e al, 2006]

3.1.3 CRITÉRIO DA GARANTIA DO NÍVEL DE SERVIÇO ADEQUADO

“Assenta na procura de soluções fluidas e capazes de canalizar, sem demoras excessivas, os diferentes movimentos direccionais. Traduz-se em soluções não muito restritivas ao comportamento do condutor mediante a definição de trajectos facilitados e rápidos (raios grandes e ângulos de entrada pequenos) e na disponibilização de sobrelarguras ao nível das vias. O conceito de base passa genericamente pela adopção de soluções pouco compactas com múltiplas vias de entrada e de circulação no anel. Apesar disso, a sua concepção geométrica deverá ainda ser direccionada para o assegurar dos padrões mínimos de segurança, nomeadamente os traduzidos pelos princípios de canalização e deflexão dos movimentos.”. [BASTOS SILVA e al, 2006]

3.2 REGRAS GERAIS DE DIMENSIONAMENTO

3.2.1 INTRODUÇÃO

As regras de dimensionamento que vou abordar neste capítulo procuram respeitar os diferentes critérios de dimensionamento enunciados anteriormente.

Vão ser apresentados alguns critérios de avaliação do desempenho global da geometria, nomeadamente ao nível dos diferentes critérios de visibilidade, da homogeneidade do traçado, da canalização e deflexão aplicada aos movimentos de atravessamento.

A garantia de bons níveis de capacidade e de segurança rodoviária estabelecem assim a base destas recomendações geométricas. É de referir no entanto que as gamas de valores apresentadas constituem intervalos de variação recomendáveis 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.

3.3 DIMENSIONAMENTO DAS ENTRADAS

A largura da entrada é um factor dominante para a importância para a determinação dos níveis capacidade e de sinistralidade da rotunda. A capacidade de uma abordagem não depende apenas do número de vias de entrada, mas na largura total da entrada. Noutras palavras, a entrada aumenta progressivamente com o aumento da capacidade incremental para a largura da entrada. A concepção das entradas é de especial importância pelo facto de envolver elevado número de parâmetros.

O efeito do comprimento efectivo do leque também é um factor determinante na capacidade de entrada, pelo que importa procurar maximizá-lo. No entanto, a adopção de vias adicionais demasiado curtas apresenta um efeito negligenciável na capacidade, enquanto que o alongamento destas vias para além de um valor razoável não se traduz num aumento directo da capacidade. É portanto recomendável a adopção de comprimentos do leque superiores a 5 ou 25 metros consoante se trate de zonas urbanas ou interurbanas, não se justificando, habitualmente, a adopção de comprimentos superiores a 100 metros. Podemos ver na figura 14 as características da rotunda que irão ser estudadas.

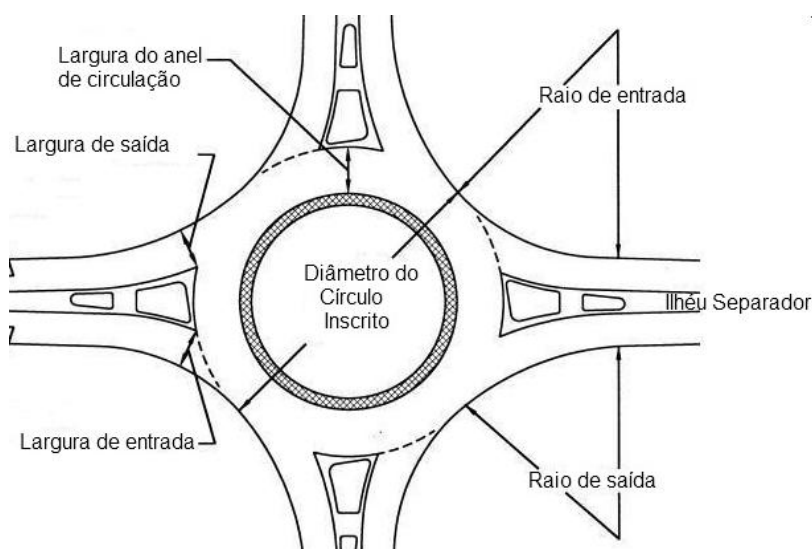


Figura 14 – Elementos geométricos existentes numa rotunda [PELLECUER e al, 2008]

3.3.1 NÚMERO DE VIAS

A geometria do traçado deve contribuir para uma percepção atempada da rotunda e para um aumento da sua notoriedade.

Por outro lado, um maior número de vias, para além de aumentar a capacidade, permite ainda melhorar a fluidez e minimizar as demoras. Por estas razões, as soluções com uma única via são recomendáveis sempre que se pretenda privilegiar o critério de segurança enquanto que as soluções de múltiplas vias são as mais eficazes à resolução de problemas de capacidade. No caso da existência de 2 vias no ramo de entrada é recomendado que no anel de circulação exista mais uma via, ou seja, a existência de 3 vias de circulação.

Em anexo encontra-se um gráfico de capacidades de uma rotunda de uma única via de circulação e outra com 2 vias de circulação (anexo 1).

No caso de não existir problemas de capacidade, é preferível optar por uma solução com uma única via de circulação, melhorando assim os níveis de segurança em relação as soluções com múltiplas vias. Isto tipo de solução é a melhor quando se pretende uma maior segurança e uma melhor acalmia de tráfego.

3.3.2 LARGURA DAS ENTRADAS

A largura mínima das vias de entrada é determinada pelas exigências de operacionalidade dos veículos de maiores dimensões pelo que não é aconselhável vias de largura inferiores a 3 metros junto à linha de cedência de passagem (figura 15). Quando for adoptada uma única via de entrada a sua largura deve estar compreendida entre os 4 e os 5 metros. Na presença de veículos pesados (ou de maiores dimensões) estes valores podem ser alterados. No entanto a largura de entrada não pode exceder a largura do anel de circulação, quer pela na sua dimensão quer no número de vias.

Largura essa que é medida na perpendicular à faixa de rodagem, junto ao bico do ilhéu separador (ver figura 14).

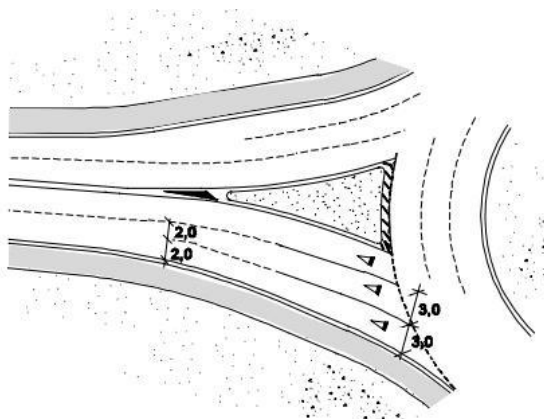


Figura 15 – Largura mínima das vias [BASTOS SILVA, 2006]

3.3.3 ÂNGULOS DE ENTRADA (ϕ)

O ângulo de entrada é um factor determinante ao nível da segurança de entrada e do conforto de condução, traduz a facilidade com que um veículo se insere no anel de circulação. Interessa adoptar ângulos de entrada que associados aos ilhéus separadores e à geometria das bermas, canalizem os veículos na aproximação e os insiram no anel de uma forma segura e cómoda.

Há que ter um cuidado especial na adopção de ângulos pequenos, que levariam a entradas tangenciais, as quais não favorecem à necessidade de uma redução da velocidade, enquanto que valores elevados (ângulos próximos dos 90°) representam conflitos secantes de elevada gravidade potencial. É recomendável a adopção de ângulos de entrada compreendidos entre o 20° e o 60° , apontando-se idealmente para valores de 30° a 50° .

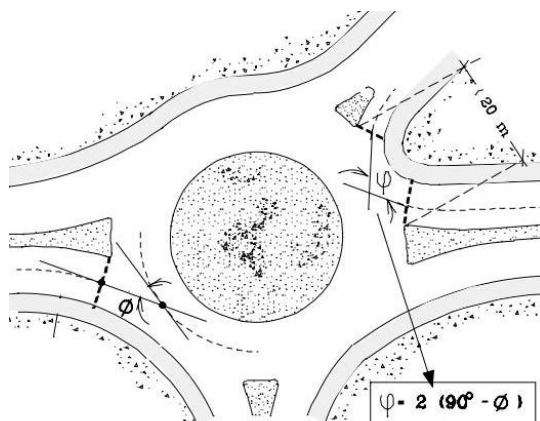


Figura 16 – Processo para determinar o ângulo de entrada [BASTOS SILVA, 2006]

Processo para medição do ângulo (ϕ):

1. Traçar a linha representativa do eixo da faixa de entrada e do anel de circulação;
2. Traçar uma perpendicular às vias de entrada a passar no bico do ilhéu separador;
3. Traçar uma tangente à linha representativa do eixo de entrada no ponto de intersecção com a recta traçada no ponto anterior. Prolongar a tangente até intersectar a linha representativa do anel de circulação;
4. Traçar uma tangente à linha representativa do eixo da faixa do anel de circulação, no ponto de intersecção encontrado no ponto 3;
5. O ângulo de entrada é o ângulo formado pelas 2 rectas traçadas nos pontos 3 e 4.

3.3.4 RAIOS DE ENTRADA (R)

A influência do raio de entrada é um factor determinante à operacionalidade da rotunda assumindo um impacto significativo quer ao nível do conforto de condução, quer da capacidade e fluidez da entrada, quando assume valores elevados pode resultar em soluções caracterizadas, por deficientes deflexões dos movimentos, como à prática de velocidades de entrada e atravessamento elevadas.

A definição do raio a adoptar depende de diversos factores, tais como, do tráfego envolvido, da funcionalidade das vias intersectadas e características geométricas da aproximação. Numa forte presença de veículos pesados ou em vias inter-urbanas recomenda-se a adopção de raios superiores a 15 metros, preferencialmente 20 metros, no entanto em zonas urbanas esse valor pode baixar até os 10 metros (e de 6 metros quando a percentagem de pesados é reduzida).

3.4 ILHÉU SEPARADOR

O ilhéu separador, entre outras funções, serve de separador físico das correntes de tráfego de entrada e saída, serve de abrigo aos peões, albergar a sinalização e contribui para uma diminuição da velocidade, acomodar o mobiliário urbano e assume um papel importante em termos de canalização dos movimentos de entrada.

Algumas referências bibliográficas atribuem ao ilhéu separador alguma influência ao nível da capacidade da entrada, uma vez que é uma separação física na entrada e saída das rotundas.

A forma e a dimensão do ilhéu separador assumem grande relevância na canalização dos movimentos de entrada, contribuindo de forma significativa para a percepção atempada da intersecção e, por consequência, para a devida adaptação dos comportamentos dos condutores, durante a aproximação à rotunda.

Em vias urbanas onde prevalece a função de acesso, ou ramos secundários de intersecções inter-urbanas e, em particular, 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 afluyente e a ilha central (AUSTROADS, 1993). O valor do raio na concordância adoptar deve ser superior ao raio de entrada, habitualmente um valor próximo do raio de entrada acrescido da largura da estrada.

Em termos construtivos o ilhéu deve ser materializado através de lancil galgável de forma a garantir o galgamento dos rodados dos veículos de maior dimensão. A sua delimitação física deve ser recuada em relação à guia de sinalização de acordo com o desenho de pormenor (ver Figura 17), recomendando-se que o afastamento na direcção do anel de circulação não ultrapasse o 1,0 metro de largura, de forma a não incentivar o estacionamento ilegal, podendo mesmo em situações excepcionais atingir os 0,5 metros. Em complemento, o seu recobrimento deve ser feito recorrendo a materiais de cores claras ou contrastantes com a faixa de rodagem.

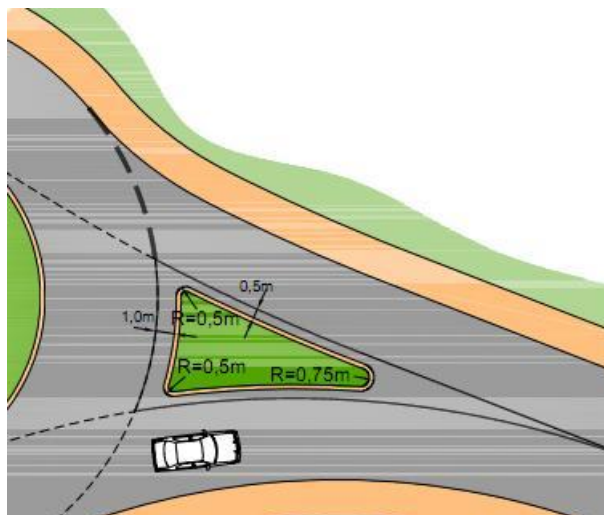


Figura 17 - Pormenor do ilhéu separador [INSTITUTO DE INFRA-ESTRUTURAS RODOVIÁRIAS]

Interessa garantir que o ilhéu seja suficientemente visível durante a aproximação, pelo que qualquer dos seus lados deverá ser superior a 2,5 metros e constituir uma área fechada de 8 a 10 m². O seu recobrimento deve ser feito recorrendo a materiais de cores claras e contrastantes com a faixa de rodagem.

3.5 DEFINIÇÃO DE BERMAS E PASSEIOS

As rotundas devem ser materializadas exteriormente e associadas a limitação da largura das bermas, de forma a condicionar o comportamento do condutor, de modo a criar uma correcta deflexão dos movimentos de atravessamento. Quanto à largura das bermas é preciso ter um cuidado especial em relação a sua largura, largura excessivas pode levar ao estacionamento ilegal. Em zonas rurais ou suburbanas, é aconselhável a adopção de bermas com 1 metro de largura, podendo esse valor ser reduzido a 0,5 metros em casos isolados. Já em zonas onde o espaço seja reduzido e rotundas com pouca relevância seja possível a eliminação da mesma.

Os passeios deverão manter a mesma largura adoptada na zona de aproximação, não sendo aceitáveis passeios com largura inferior a 1,5 metros ou 2 metros na existência de árvores.

3.6 DISPOSIÇÃO DOS RAMOS AFLUENTES

Todas as concepções geométricas deveram impedir, o traçado de trajectória directa de atravessamento ou que possa provocar uma sensação de continuidade do traçado.

É aconselhável uma repartição regular das entradas, conduzindo de uma forma geral a distâncias inter-ramos equilibradas e ângulos de viragem mais adequados. É importante garantir ainda que o centro da rotunda se situe, dentro do possível na intersecção das directrizes dos ramos afluentes. Esta corresponde à condição ideal de implantação da ilha central quer do ponto de vista da percepção da intersecção quer da garantia de deflexões dos movimentos nas diferentes entradas. No entanto, o prolongamento das directrizes involuntariamente recai sobre um único ponto, formando um polígono mais ou menos vasto, pelo que a localização final se situa dentro desse polígono e deve resultar de um processo de ajustamentos (ver figura 18). A existência de polígonos 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.

O centro da ilha central deve localizar-se o mais próximo possível do ponto de intersecção das directrizes. No caso de existir vários pontos de intersecção, o centro deve-se localizar no interior do polígono formado pelas várias directrizes. Para assegurar ângulos de baixa perigosidade devem ser garantidas as distâncias mínimas de 20 metros entre dois ramos consecutivos, medidas entre os extremos dos ilhéus separadores dos dois ramos consecutivos e, simultaneamente, que os arredondamentos de entradas e saídas se não se sobrepõem.

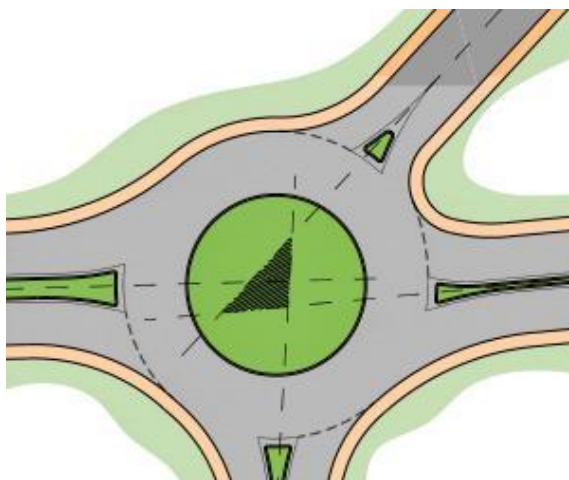


Figura 18 – Polígono de localização do centro da rotunda [Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias]

3.7 ANEL DE CIRCULAÇÃO

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 devem apresentar o mesmo número de vias. A largura mínima do anel é normalmente determinada pelo condicionalismo relacionado com a

operacionalidade dos veículos de maiores dimensões. Para salvaguardar a circulação deste tipo de veículos devem ser adoptados DCI's superiores a 28 metros.

Em geral, a adopção de DCI's baixos resulta em soluções mais favoráveis à segurança, o que vai resultar em velocidades mais moderadas.

A adopção de múltiplas vias de entrada e de circulação no anel resulta habitualmente em dificuldades de garantia da deflexão dos movimentos e em problemas de funcionamento relacionadas com o comportamento do condutor durante a aproximação. Não é recomendado a adopção de mais de 3 vias de circulação de entrada e no anel de circulação, por vezes em condições excepcionais se aceite a adopção de 4 vias.

A tabela seguinte apresenta as larguras mínimas de ocupação (uma única via), requeridas pelo veículo de projecto, ao contornar diferentes raios da ilha central. Em anexo será apresentada uma tabela para múltiplas vias (ver em anexo 2).

Quadro 4 – Larguras necessárias para rotundas compactas e normais [Department of Transport, 1993]

Diâmetro da ilha central (m)	R1 (m)	R2 (m)	DCI (m)
4	3	13,0	28,0
6	4	13,4	28,8
8	5	13,9	29,8
10	6	14,4	30,8
12	7	15,0	32,0
14	8	15,6	33,2
16	9	16,3	34,6
18	10	17,0	36,0
20	11	17,7	37,4
24	13	19,5	41,0
28	15	21,2	44,4
32	17	23,0	48,0
36	19	24,9	51,8
40	21	26,7	55,4
44	23	28,6	59,2
48	25	30,5	63,0
52	27	32,4	66,8
56	29	34,4	70,8
60	31	36,3	74,6
64	33	56,0	114,0
68	35	105,6	213,2

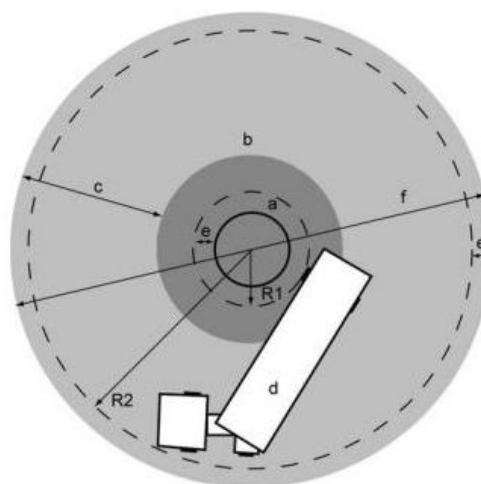


Figura 19 – Elementos de rotunda [Departamento of Transport, 1993]

- a- Ilha central
- b- Área da ilha central ($R1 + e +$ “área galgável” se aplicável)
- c- Via circulação restante (1 ou 1,2 vezes a largura da maior entrada)
- d- Veículo
- e- Largura de berma (1 metro)
- f- Diâmetro do círculo inscrito

3.8 DIMENSÃO GERAL DA ROTUNDA E ILHA CENTRAL

A ilha central deve ter uma a forma circular, o que melhora a segurança da circulação. O raio da ilha central deverá variar entre 15 e 30 metros, não devendo ultrapassar os 50 metros.

A dimensão a atribuir à rotunda depende do meio em que se pretende a sua concepção e do princípio de dimensionamento que se pretende privilegiar, devendo-se procura preferencialmente soluções compactas, sem condicionar as manobras dos veículos de maiores dimensões.

As soluções com uma única via de circulação devem preferencialmente ter valores de DCI de 30 a 40 metros. Numa forte presença de utilizadores mais vulneráveis, tais como peões idosos ou crianças, ou sempre que se pretenda que a rotunda funcione como uma medida eficaz de acalmia de tráfego, a solução deve ser capaz de condicionar o comportamento do condutor, pelo que o DCI deve assumir valores próximos dos 30 metros.

Já em soluções de múltiplas vias esses valores vão ser alargados, podendo os valores de DCI's atingir os valores de 40 a 50 metros para duas vias. No caso de existir 3 vias pode-se aceitar valores na ordem dos 60 metros em zonas urbanas e 80 metros em zonas inter-urbanas.

O tamanho da ilha central é determinado principalmente pelo espaço disponível e da necessidade de obter uma deflexão suficiente para controlar a velocidade do veículo. Geralmente em rotundas com mais de 4 ramos afluentes a dimensão da ilha central será maior do que para um número menor de ramos.

As ilhas centrais devem ser preferencialmente circulares, embora sejam aceites formas elipsoidais (figura 20) de baixa excentricidade, ligeiramente alongadas (figura 21) ou ovais. Concepções com formas muito alongadas devem ser seriamente ponderadas, pois não têm um movimento constante o que pode levar a velocidades excessivas.



Figura 20 – Rotunda elipsoidal [3]



Figura 21 – Rotunda alongada [3]

No interior da ilha central podem ser colocadas plantas ou arbustos de pequeno porte e ou material granular, que no seu conjunto possam contribuir para amortecer a energia cinética do veículo.

Quando os valores de DCIs estão compreendidos entre 18 e 28 metros, a ilha central deve ser ligeiramente elevada em relação ao anel de circulação, construído por misturas betuminosas, argamassa de cimento ou blocos pré-fabricados que garantam um contraste visual com a faixa de rodagem no anel. A ilha central deve ser delimitada por lancil galgável (figura 23), em detrimento do recto ou muito alto (figura 24), para não facilitar o capotamento do veículo.

São aceitáveis elevações de 10 a 15 cm no centro da ilha central, radialmente disfarçadas até atingirem um mini-degrau entre 0,5 a 1,5 cm junto ao bordo delimitador.

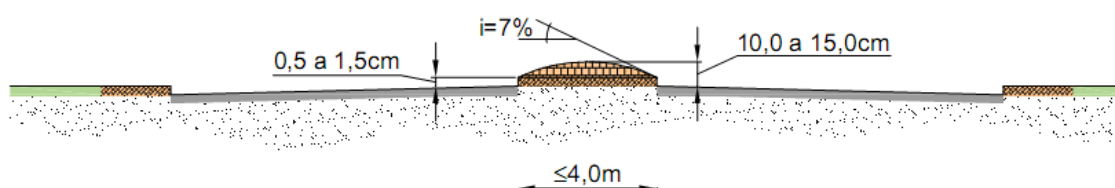


Figura 22 – Perfil transversal tipo de uma mini-rotunda [Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias]



Figura 23 - Pormenor da elevação (lancil galgável) [3] Figura 24 - Pormenor da elevação (lancil recto elevado)

3.9 DIMENSIONAMENTO DAS SAÍDAS

A geometria das saídas da rotunda é também um aspecto a valorizar, devendo ter “capacidade muito superior” de circulação relativamente à entrada. Assim fica salvaguardada qualquer problema que possa existir na saída, que possa causar o congestionamento da rotunda e pondo em causa o seu nível de desempenho.

Por essa razão, a maior parte dos modelos de cálculo apostam no princípio de base de “dificultar as entradas e facilitar as saídas”. A regra base passa por garantir a continuidade do número de vias atribuídas à entrada e ao anel de circulação, à exceção das rotundas com três vias de circulação onde se deve ponderar a disponibilidade de apenas duas vias na saída na saída, pois assumindo que a via mais à esquerda, apenas deve servir para a inversão de marcha e movimentos de viragem à esquerda.

Para os casos em que só existe uma única via de circulação é recomendável, e sempre que o separador central seja fisicamente materializado é obrigatória, a adopção de larguras equivalentes a 2 vias nas saídas que permitam a circulação de dois veículos, larguras essas que devem ter 6 a 7 metros. No caso de perfis de 2*2 vias os valores recomendáveis vão para os 8 a 9 metros.

Quanto ao raio de saída, este também tem influência no conforto de condução. Numa forte presença de veículos de grandes dimensões, deve ser promovida a facilidade de circulação através de raios alargados. Enquanto que em zonas de grande procura pedonal deve-se procurar evitar pôr o peão em risco, minimizando o seu comprimento de exposição com a utilização de raios reduzidos. O valor a utilizar depende de caso para caso, não sendo aconselhável a adopção de raios inferiores a 15 metros ou superiores a 100 metros.

3.10 SOBREELEVAÇÃO

Os valores e a orientação a adoptar para sobrelevação vão depender da drenagem das águas superficiais e do conforto de condução que se pretende.

Os valores normalmente adoptados para as inclinações transversais no anel estão compreendidos entre os 2% e os 2,5%, sendo o sentido da sua orientação controverso. Se, por um lado, as inclinações transversais orientadas para o extradorso garantem uma melhor percepção na aproximação e facilitam a drenagem das águas, para o intradorso resultam num maior conforto e segurança de condução, tendo este factor mais importância quanto maior for a sua velocidade base pelo motivo de contrariar o efeito da força centrífuga.

Em zonas urbanas, como os raios e a largura do anel são reduzidos, as velocidades praticadas são baixas, logo os condutores estão dispostos a suportar maior desconforto. Neste caso recomenda-se a sua orientação para o extradorso, o que vai facilitar a drenagem das águas superficiais.

No caso de o anel dispor mais do que uma via de circulação ou quando a velocidade seja superior a 50 km/h, haverá necessidade de contrariar o efeito da força centrífuga. Neste caso é recomendável que a inclinação seja para o interior.

3.11 INCLINAÇÕES LONGITUDINAIS

As rotundas devem ser implantadas em zonas planas e de boa visibilidade, sob risco de induzir os condutores à prática de comportamentos heterogéneos e a eventuais derrubes de cargas ou de veículos pesados. É aceitável a sua implantação em trainéis com inclinação máxima de 3% em zonas inter-urbanas e de 5% em zonas urbanas. Na existência de trainéis com inclinações superiores às anteriores, devemos alterar o perfil longitudinal, acentuando-se se possível a inclinação dos ramos afluentes.

Por forma a assegurar as devidas condições de drenagem superficial deve-se impor um valor mínimo de 0,5% para a inclinação longitudinal, de maneira também a garantir uma boa aderência pneu-pavimento.

Em termos de projecto, interessa definir o perfil longitudinal da rotunda, o qual frequentemente corresponde ao bordo exterior direito da faixa de rodagem no anel. Podemos ver alguns exemplos em abaixo.

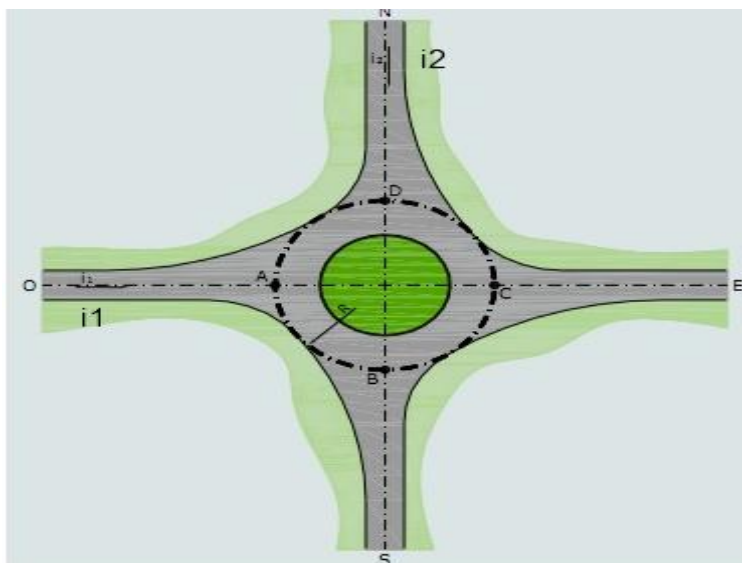
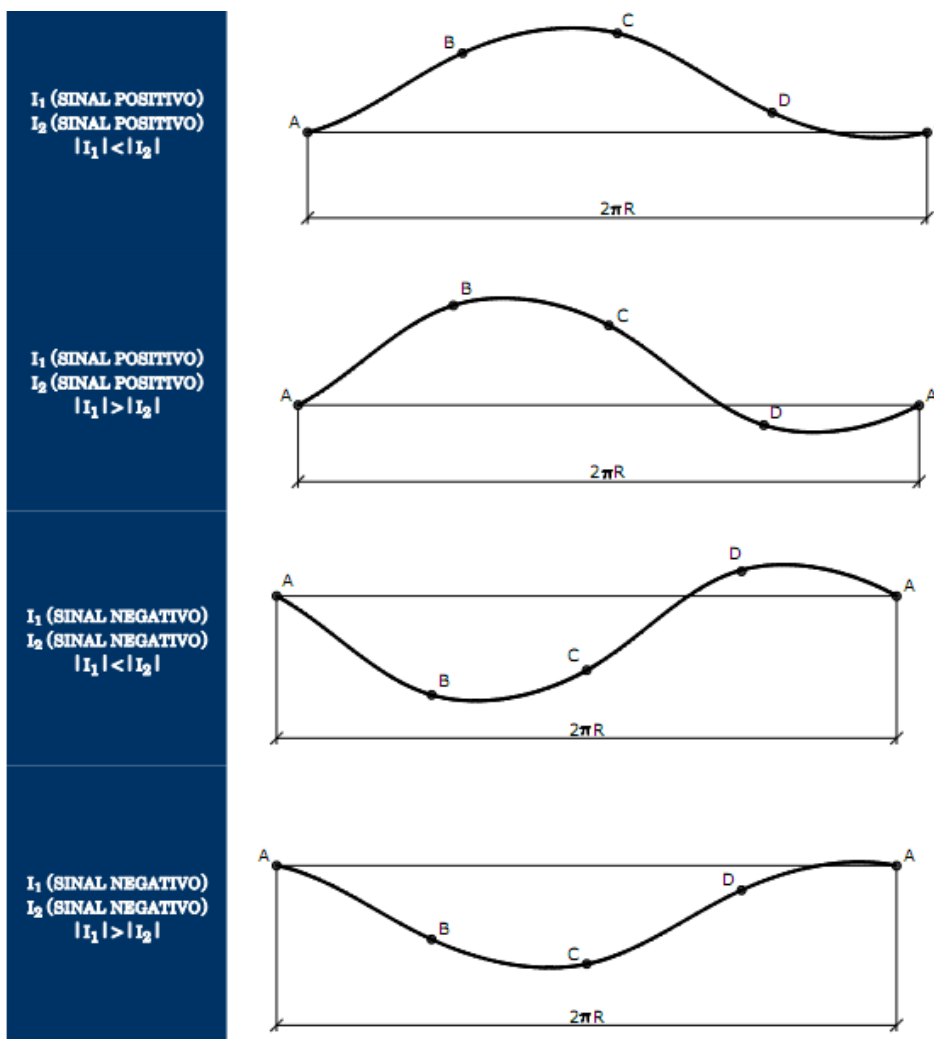


Figura 25 – Planta da Rotunda [Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias]



Os ramos afluentes também merecem grande atenção na sua concepção, por razões de segurança e visibilidade, já que os trainéis ascendentes estão associados a condições de fraca visibilidade e os trainéis descendentes estão associados a uma inclinação acentuada, o que vai originar numa dificuldade na travagem, principalmente nos veículos pesados e uma recusa na cedência de passagem na entrada.

3.12 VEÍCULO DE PROJECTO

O veículo projecto deve ser definido em função do meio de inserção, já que deve servir de base ao estabelecimento das exigências máximas em termos de dimensões e regras gerais de projecto.

Os veículos são normalmente classificados em três tipos: veículos ligeiros, camiões e veículos articulados.

Como estamos a tratar de intersecções de estradas nacionais, o veículo tipo a considerar será sempre o veículo articulado. As dimensões máximas do conjunto veículo-reboque são: comprimento (18 metros), largura (2,5 metros) e altura (4,0 metros).

3.13 VELOCIDADES DE ENTRADA

Os valores de velocidade de entrada vão depender de múltiplos factores:

- Grau de conhecimento da estrada;
- Curvatura;
- Distância de visibilidade;
- Tipo de pavimento e coeficiente de aderência (ft);
- Intensidade de tráfego;
- Tipo de condução;
- Condições meteorológicas;
- Largura da faixa de rodagem e o número de vias.

A velocidade é um parâmetro fundamental para a escolha e controle dos elementos geométricos do traçado. As velocidades para determinar as características geométricas do traçado são duas, velocidade base, é a velocidade máxima que deverá ser assegurada ao longo de todo o traçado (deve ser a mesma para cada secção de estrada a construir) e a velocidade específica é definida como a velocidade máxima que pode ser obtida com segurança em qualquer elemento do traçado, considerado isoladamente. Esta velocidade deverá ser considerada no dimensionamento de elementos geométricos cujas características dependem da visibilidade.

Normalmente considera-se como representativa da velocidade específica, a velocidade do tráfego, velocidade correspondente a 85% dos condutores que circulam a velocidades que se podem considerar aceitáveis e seguras para as condições existentes.

Existem diversos estudos que mostram que a velocidade correspondente ao 85º percentil é cerca de 12 km/h a 20 km/h superior à velocidade base, sendo a diferença maior em alinhamentos rectos e menor em alinhamentos curvos.

No dimensionamento das rotundas a velocidade a utilizar é a velocidade específica, a máxima velocidade que se pode circular em segurança em todo o desenvolvimento da rotunda. Os valores considerados adequados para a velocidade de entrada são definidos em função da tipologia da solução e do meio em que está inserida, sendo possível a prática de velocidades de entrada superiores em meios interurbanos relativamente aos urbanos. A tabela seguinte mostra a velocidade de entrada recomendada para os diferentes raios (raio exterior), diâmetro do círculo inscrito (DCI) o maior diâmetro que se consegue inscrever no interior da rotunda (incluindo bermas) e o coeficiente de aderência que depende do tipo do pavimento, este coeficiente é cada vez menor, quanto maior for a velocidade (Quadro 5). Quanto ao valor da sobrelevação vou admitir para o caso mais gravoso, ou seja, sobrelevação para o extradorso (- 2,5%).

Quadro 5- Velocidades máximas de entrada

Rext(m)	DCI (m)	ft	V (Km/h)
13,0	28,0	0,35	23
13,4	28,8	0,35	24
13,9	29,8	0,34	24
14,4	30,8	0,34	24
15,0	32,0	0,34	24
15,6	33,2	0,32	24
16,3	34,6	0,32	25
17,0	36,0	0,31	25
17,7	37,4	0,31	25
19,5	41,0	0,31	27
21,2	44,4	0,30	27
23,0	48,0	0,29	28
24,9	51,8	0,28	28
26,7	55,4	0,27	29
28,6	59,2	0,26	29
30,5	63,0	0,25	30
32,4	66,8	0,24	30
34,4	70,8	0,23	30
36,3	74,6	0,22	30
56,0	114,0	0,21	36
105,6	213,2	0,19	47

$$V = \sqrt{127 \times R \times (e + ft)}$$

Onde: V- velocidade estimada (km/h)

R- raio (m)

e - sobrelevação (m/m)

ft- coeficiente de aderência

3.14 CRITÉRIOS DE VISIBILIDADE

A garantia dos diferentes critérios de visibilidade assume um papel de grande importância na percepção global e no modo de funcionamento da rotunda, com incidência directa no índice de sinistralidade. Salvaguardando uma área isenta de obstáculos físicos que permita o condutor durante a

aproximação, entrada e atravessamento, visualizar a intersecção e a existência de outros utilizadores da via pública ao longo das designadas distâncias de segurança.

3.14.1 CRITÉRIO DE VISIBILIDADE DE APROXIMAÇÃO

O condutor de qualquer veículo à distância de visibilidade de paragem (DP), medida a partir da linha de cedência de passagem, deve ser capaz de visualizar a existência da intersecção, de modo a se aperceber de eventuais obstáculos (ver Quadro 6). Este critério materializa-se pelo traçado de um triângulo com vértice localizado a 2 metros da delimitação da via mais à direita e à distância DP da linha de cedência de passagem e a passar tangencialmente a 2 metros da delimitação do exterior do anel (ver figura 26).

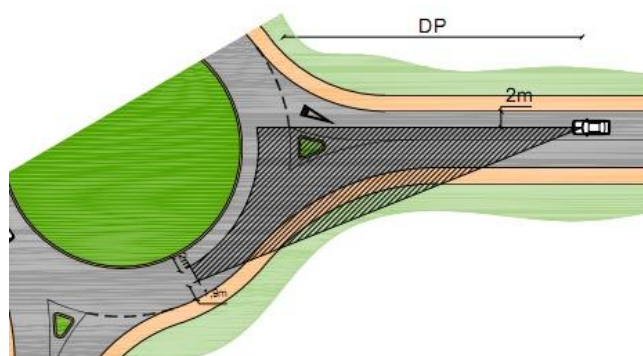


Figura 26 – Pormenor da distância de visibilidade de aproximação [Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias]

O quadro 6 indica as distâncias de visibilidade de paragem em função da velocidade do tráfego.

Sendo o valor da distancia de visibilidade de paragem determinada através da seguinte expressão:

$$DP = \frac{2}{3,6} * V + \frac{0,11 * V^2}{2 * 3,6^2 * (fl + Wd)}, \text{ Com } fl=0,3 \text{ (N/N) e } Wd=0,02 \text{ (N/N)}$$

fl – coeficiente de aderência longitudinal (N/N)

Wd- resistência específica do movimento (N/N)

V- velocidade relativa (km/h)

Quadro 6 - Distâncias de Visibilidade de Paragem

V (km/h)	DP (m)	DP (m)
40	43,44	40
50	60,93	60
60	81,07	80
70	103,87	100
80	129,32	120
100	188,17	180

3.14.2 CRITÉRIO DE VISIBILIDADE DO ANEL

O condutor de qualquer veículo que circule no anel, deve poder visualizar a faixa de rodagem à sua frente, ao longo de um comprimento de segurança “a” (ver Quadro 7). Este critério deve ser verificado através de um veículo localizado a 2 metros da delimitação exterior da ilha central (ver figura 27).

Quadro 7- Distancias de visibilidade do anel [Department Of Transport, 1993]

DCI (m)	<40	40-60	60-100	> 100
Distância de visibilidade do anel "a" (m)	Toda a intersecção	40	50	70

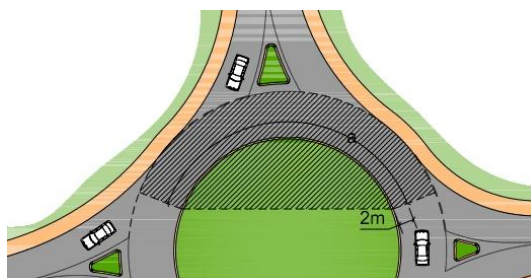


Figura 27 – Critério de Visibilidade [Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias]

3.14.3 CRITÉRIO DA VISIBILIDADE DA ENTRADA

O condutor de qualquer veículo deve ter uma percepção global da faixa de rodagem no anel à sua esquerda, na proximidade da linha de cedência de passagem. Este critério materializa-se pela salvaguarda das distâncias “a” referidas no Quadro 7. Este critério deve ser verificado relativamente a um veículo centrado na via de entrada mais a direita a 15 metros da linha de cedência de passagem (ver figura 28).

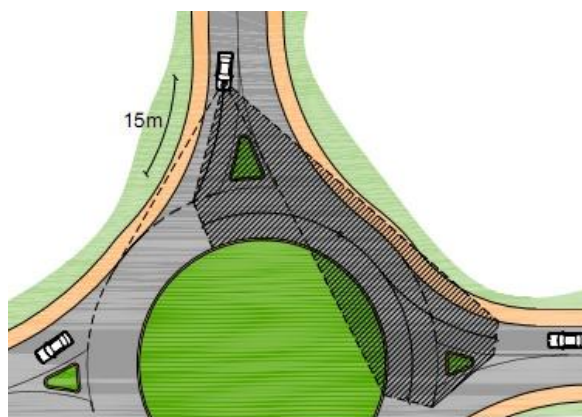


Figura 28 – Critério de visibilidade à entrada relativamente à sua esquerda [Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias]

4.14.4 CRITÉRIO DE VISIBILIDADE DAS TRAVESSIAS PEDONAIS

O condutor de qualquer veículo na proximidade da entrada deve poder visualizar pelo menos a uma distância DP as zonas de atravessamentos pedonais, existentes nessa entrada. Após atingir a linha de cedência de passagem, o condutor ainda terá de visualizar a existência de possíveis travessias pedonais na saída consecutiva, se estas estiverem a menos de 50 metros da delimitação do anel (ver figura 29).

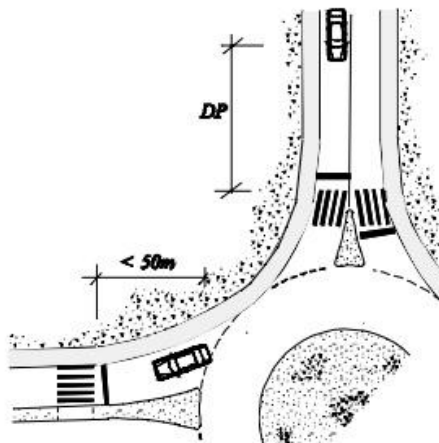


Figura 29 – Critério de visibilidade das travessias pedonais [BASTOS SILVA, 2006]

3.15 DEFLEXÃO DOS MOVIMENTOS

O factor mais importante para uma circulação segura numa rotunda é a deflexão, na concepção temos de garantir uma deflexão adequada do veículo à entrada e à medida que se circula na rotunda.

As rotundas devem ser concebidas de modo a que a velocidades do veículo seja limitada a 40 (km/h) dentro do anel de circulação.

Um dos erros encontrados na concepção de rotundas tem a ver com a deflexão (ver figura 30), com a curvatura mínima que o condutor deve fazer, de forma a impedir o atravessamento a direito.



Figura 30 - Rotunda com uma má deflexão [3]

Como conseguir uma boa deflexão:

- Restabelecimento dos ramos;
- Ilhéus complementares;
- Descentramento da ilha central;
- Aumento da ilha central;
- Aumento do ilhéu separador.

A imposição de deflexões adequadas às trajectórias dos veículos, durante a entrada e atravessamento de uma rotunda tem-se mostrado determinante ao nível da segurança rodoviária, impedindo que qualquer veículo transponha a intersecção sem estar sujeito a uma deflexão mínima o que vai obrigar a uma diminuição da velocidade (ver figura 31).



Figura 31 – Rotunda com boa deflexão [3]

“Assume-se que uma concepção garanta a deflexão mínima, sempre que a trajectória de menor esforço integre um raio inferior a 100 metros num desenvolvimento mínimo de 20 metros, nas imediações da linha de cedência de prioridade, preferencialmente nos 50 metros que a precedem”. A trajectória de menor esforço, é a trajectória mais a direito, passando tangencialmente aos elementos físicos restritos ignorando a existência de pinturas horizontais.

3.16 CANALIZAÇÃO DOS MOVIMENTOS

A canalização representa a capacidade da solução para orientar devidamente o veículo para o anel de circulação, para o atravessamento e a saída do anel. Determina em grande medida o desempenho geral da intersecção e em particular a segurança e fluidez de circulação através da eliminação dos pontos de conflito gerados pelos veículos que adoptam trajectórias incorrectas.

Esse conceito torna-se fundamental importante em soluções com múltiplas vias, ajudando que o condutor circule de uma forma correcta no anel e de uma maneira segura. A canalização dos movimentos está associada a um conjunto de informação fornecida ao condutor através da geometria das bermas, do ilhéu separador e de outros elementos físicos.

Uma boa canalização também vai diminuir significativamente os acidentes por invasão da ilha central.



Figura 32 – Canalização dos movimentos [6]

3.17 VIA SEGREGADA DE VIRAGEM À DIREITA

É uma via auxiliar existente no ramo afluente, para os veículos que pretendam entrar no anel de circulação e sair no ramo seguinte, sem interferir directamente na circulação do anel. Só é recomendado no caso de existir um fluxo elevado (maior do que 300 veic/h ou 50% do tráfego total de entrada) de veículos que pretendam virar na primeira saída à direita, as normas espanholas e as inglesas (Department Of Transport, 1993) recomendam este tipo de construção.

A aplicação deste tipo de medida, traz grande vantagem em termos do nível de serviço dessa entrada e do desempenho global da rotunda.

Em termos de concepção, não deve ter mais do que uma via de circulação, com largura 4 a 5 metros (não incluindo bermas), dever ser delimitada em relação ao anel circulação através de um separador materializado por lancil de modo a que os condutores que circulam no anel não lhe acedam inapropriadamente.

A sua inserção do movimento de viragem à direita deve ser localizada o mais perto da delimitação da saída (ver figura 33), valor que não deve ultrapassar os 50 metros, para garantir que os veículos de saída (movimento prioritário) não chegam com uma velocidade excessiva a intersecção com essa via.



Figura 33- Exemplo de rotunda com movimento de viragem à direita [4]

3.18 ORDENAMENTO PARA PEÕES

Os circuitos pedonais associados às rotundas são habitualmente pouco atractivos para os peões, pelo que envolvem uma maior extensão no seu percurso. Por razões de segurança devem ser evitadas as travessias pedonais junto à delimitação do anel de circulação, e os atravessamentos directos no anel no anel de circulação por transposição da ilha central, sendo estes considerados inaceitáveis. Por este motivo deve-se ser dificultada a sua travessia, através da utilização de revestimentos incómodos à circulação pedonal, tais como, relva, arbustos ou agregado solto.

As soluções de nível mais comuns para a travessia de peões são as marcadas transversalmente por barras longitudinais paralelas ao eixo da via, devem estar localizadas entre 10 e 15 metros da delimitação do anel de circulação.

É aconselhável existência de um separador central para possibilitar que o atravessamento se processe em duas faces, sendo esta medida obrigatória quando o atravessamento ultrapassa os 9 metros de comprimento. Por este motivo é aconselhável que o ilhéu central garanta uma largura de 1,8 a 2 metros, com um mínimo recomendável de 1,5 metros, e que na zona de atravessamento o ilhéu seja rebaixado para facilitar o atravessamento, (ver o pormenor na figura 34).

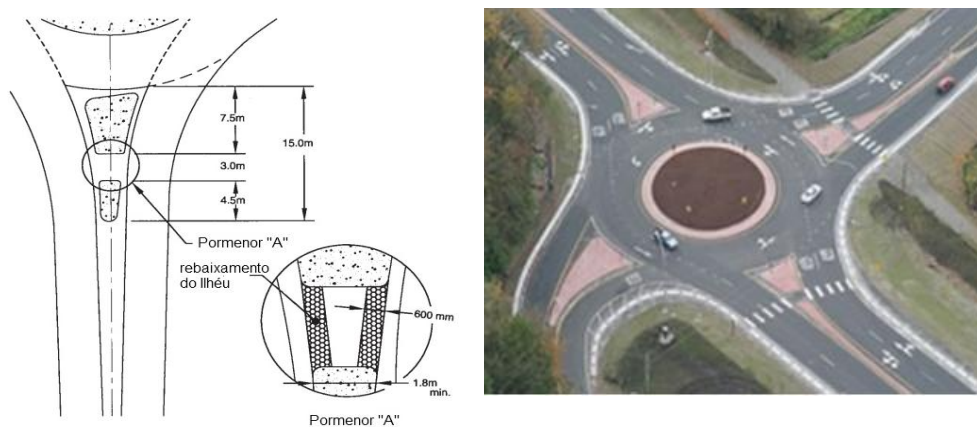


Figura 34 – Pormenor do rebaixamento do ilhéu [Department Of Transport, 1993]

No caso de existência de travessias semaforizadas, o controle deverá ser feito para que o atravessamento seja feito por fases.

O conforto e segurança das travessias pedonais aumentam sempre que:

- Os níveis de tráfego conflituantes são pouco significativos;
- O comprimento da travessia seja o mínimo, de modo ao menor risco de exposição;
- Infra-estrutura pedonal de qualidade.

3.19 ORDENAMENTO PARA CICLISTAS

A presença de um ciclista numa intersecção deste tipo no nosso país, ainda não constitui uma preocupação primordial. Uma vez que em Portugal o uso desse meio de transporte não seja muito utilizado, o que não impede estabelecer recomendações para o tratamento deste tipo de tráfego.

As zonas onde existe maior perigo para este tipo de transporte são nas entradas e saídas do anel de circulação, onde o código de estrada, estabelece que os ciclistas que circulam no anel de circulação não são obrigados a dar prioridade aos veículos motorizados que pretendem entrar como acontece com qualquer outro veículo. Já em relação a saída não está nada estipulado.

No entanto face a uma presença considerável deste tipo de veículos, a resolução passa pela adopção de dois tipos de medidas, utilização de sinalização específica de pré-aviso ou mesmo a construção de corredores próprios. Corredores esses a serem construídos no extradorso do anel (ver figura 35).



Figura 35 - Pista reserva a ciclistas []

3.20 INTEGRAÇÃO PAISAGÍSTICA E TRATAMENTO DA ILHA CENTRAL

O arranjo paisagístico da ilha central da rotunda é uma das questões a ter em conta, devendo ser evitadas estátuas, fontes, árvores, rochas ou qualquer outro tipo dispositivo rígido ornamental, que possam constituir obstáculos físicos capazes de agravar as consequências de eventuais embates.

Em soluções com ilhas centrais de grandes dimensões (raio interior maior do que 10 metros), a colocação deste tipo de obstáculo já não é tão gravosa em caso de invasão da ilha central. De qualquer maneira deve ser evitada a colocação de obstáculos na coroa circular mais exterior.

No caso de se pretender a colocação de elementos decorativos, deve enveredar-se pela presença de elementos decorativos pouco agressivos, como por exemplo, arranjos paisagísticos que integrem plantas ou arbustos de pequeno porte rodeados de material granular, que possa contribuir para um amortecimento da energia cinética do veículo eventualmente acidentado.

A modelação do terreno no interior da ilha central tem sido muito benéfica na quebra de continuidade do itinerário e na identificação estrutura que vamos encontrar. A inclinação na zona modelada, não deve ultrapassar os 15%, sendo que a modelação do terreno e uma eventual plantação de arbustos ou outro tipo de estrutura devem respeitar os critérios de visibilidade. Actualmente têm sido frequentes as rotundas com o interior modelado que, para além de às vezes não respeitar o critério de visibilidade é muitas vezes um convite à prática nocturna de praticas “desportivas” com motociclos.

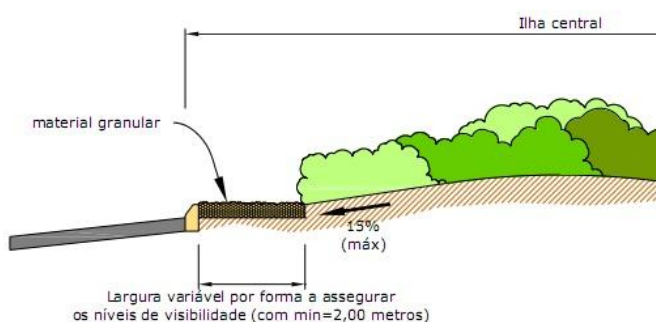


Figura 36 – Tratamento da ilha central [Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias]



Figura 37 - Zonas de invasão da ilha central na sequência de um despiste frontal [Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias]

3.21 ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Estudos da especialidade demonstram que o número de acidentes por invasão da ilha central ou perda de controle no anel sofre um acréscimo considerável durante a noite em rotundas em que não existem dispositivos de iluminação artificial. A implantação de iluminação pública torna-se indispensável numa intersecção deste tipo.

A necessidade de iluminação pública varia consoante o local onde se insere a intersecção:

- em meios urbanos a iluminação deve ser prevista na generalidade dos casos;
- em meios inter-urbanos essa iluminação, embora não seja obrigatória é fortemente recomendável.

Se este tipo de intersecção se insere em zonas iluminadas o sistema de iluminação da rotunda deve ser prolongado pelos ramos de acesso garantindo a sua continuação. No entanto quando estas se inserem em zonas escuras, devem ser criadas zonas de transição que garantam o prolongamento da iluminação até uma zona rectilínea da via ou num comprimento mínimo de 60 metros. Sendo estas recomendáveis para facilitar a adaptação visual do condutor à luminosidade ambiente quando passa de uma zona iluminada para uma zona escura. Essa adaptação deve ser efectuada em zona recta e livre de obstáculos.

Por motivos de segurança essa iluminação não deve ser colocada nos ilhéus separadores ou na ilha central, devendo ser colocada no contorno do exterior do anel de circulação, no mínimo a 0,5 metros fora da berma.

4

SINALIZAÇÃO

4.1 INTRODUÇÃO

As rotundas, quando comparadas com outras intersecções, entroncamentos e cruzamentos, destacam-se destas por terem um nível de segurança superior, desde que sejam bem concebidas e sinalizadas.

Sinalização é um conjunto de equipamentos:

- Sinalização vertical;
- Marcação rodoviária;
- Equipamento de guiamento e balizagem.

A sinalização vertical é composta por sinais ou painéis de sinalização que transmitem uma informação visual, graças à sua localização, à sua forma, à sua cor e ainda através de símbolos e/ou caracteres alfanuméricos.

A marcação rodoviária permite fazer o guiamento aos utentes, transmitindo determinadas informações, por exemplo em determinadas manobras.

O equipamento de guiamento e balizamento, é constituído por um conjunto de dispositivos discretos e têm como objectivo facilitar o guiamento do condutor.

As rotundas só o são, no sentido legal, desde que sejam sinalizadas como tal, o que implica a existência de sinal de aproximação de rotunda, colocado preferencialmente a uma distância entre 150 e 300 metros, e do sinal de rotunda colocado na sua entrada.

Na circulação em rotundas deve ser adoptado o seguinte comportamento, de acordo com o Código da Estrada (CE):

1. O condutor que pretende tomar a primeira saída da rotunda deve ocupar, dentro da rotunda, a via de trânsito da direita, sinalizando antecipadamente quando pretender sair.
2. Se pretende tomar qualquer das outras saídas, deve:
 - Ocupar, dentro da rotunda, a via de trânsito mais adequada em função da saída que vai utilizar;
 - Aproximar-se progressivamente da via da direita;

- Fazer sinal para a direita depois de passar a saída imediatamente anterior à que pretende utilizar;
- Mudar para a via de trânsito da direita antes da saída, sinalizando antecipadamente quando for sair.

4.2 SINALIZAÇÃO VERTICAL DE REGULAMENTAÇÃO E PRÉ-AVISO

A sinalização vertical a colocar na via pública inclui sinais de perigo, sinais de regulamentação, sinais de indicação, sinalização de informação variável e sinalização turística-cultural.

Os sinais utilizados na sinalização de rotundas são os sinais “de código” (sinais constituídos por uma só placa), os sinais complementares (baias direccionais e balizas de posição) e ainda os sinais do sistema informativo.

De acordo com o CE uma rotunda é uma praça formada por cruzamento ou entroncamento, onde o trânsito se processa em sentido giratório e sinalizada. A sinalização de uma rotunda implica assim a utilização dos sinais B7 e D4 (Figura 38) correctamente colocados.



B7- Aproximação de Rotunda

D4 - Rotunda

Figura 38 - Sinais de rotunda [DGV, 2003]

O princípio de regulação instituído nas rotundas é o estabelecido pela alínea c) do nº 1 do art. 31º do Código da Estrada, “*deve ceder passagem o condutor que entre numa rotunda*”. Os sinais de cedência de passagem informam os condutores da existência de um cruzamento, entroncamento, rotunda ou passagem estreita, onde lhes é imposto um determinado comportamento ou uma especial atenção.

É recomendado a utilização dos seguintes sinais verticais, sendo que devem colocados do lado direito da via, no caso de existir mais do que uma via de trânsito no mesmo sentido também será obrigatório essa colocação no lado esquerdo:

- sinal B1 (cedência de passagem) acompanhado do sinal D4 a colocar junta às entradas;
- sinal do tipo B1 como pré-aviso, 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 deve ser utilizado em zonas inter-urbanas ou em locais onde se pratiquem velocidades de circulação superiores a 50 km/h (vias colectoras e distribuidoras principais urbanas). Deve localizar-se a distâncias superiores a 50 metros da entrada e pode ser associado a sinais de limitação legal da velocidade (sinal C13 do RST);

- sinal sentido proibido (sinal C1 do RST) nos ilhéus separadores, em cada uma das entradas e voltado para o sentido contrário ao da marcha. Apesar da geometria dos ilhéus separadores não convidar à inserção dos veículos em sentido contrário ao da marcha, recomenda-se a sua aplicação sempre que a dimensão dos ilhéus separadores o proporcionar;
- baias direccionais múltiplas (sinal O6b do RST) associadas a sinais de sentido obrigatório (sinal D1a do RST) aplicadas na ilha central em posição frontal à trajectória dos veículos que entram na rotunda. Refira-se contudo que estes sinais apenas poderão ser colocados em rotundas 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, considerando-se a sua aplicação dispensável em zonas urbanas sujeitas a velocidades moderadas. Face às características da ilha central associadas às mini-rotundas (ilhas transponíveis), não se considera admissível a aplicação de qualquer sinal no seu interior;
- sinal de obrigação D3a do CE (“Obrigação de contornar a placa ou obstáculo”) acoplado a uma baliza de posição (O7a) na extremidade montante de cada separador fisicamente materializado;
- na presença de travessias pedonais a colocação do sinal H7 (“Passagens de peões”) na proximidade imediata da linha de paragem que a antecede, não se justificando, à partida, a colocação do sinal de 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.

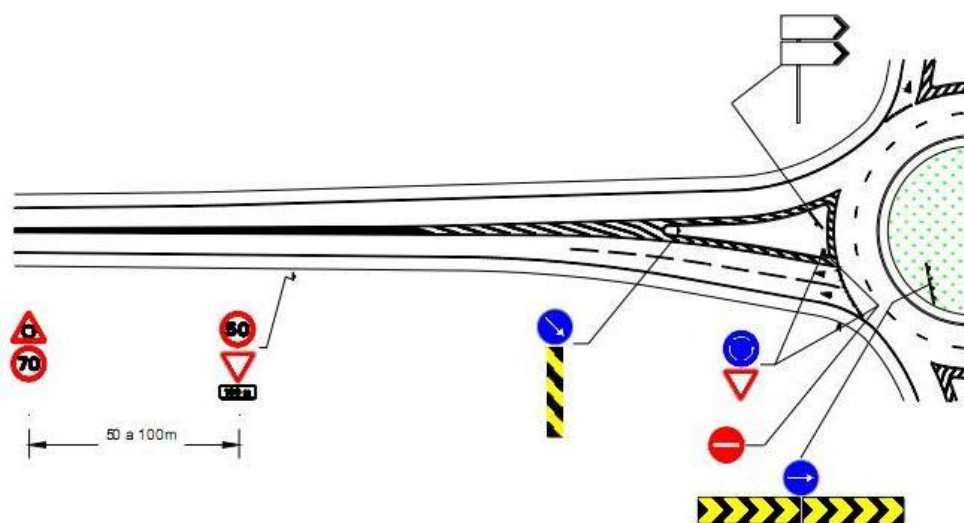


Figura 39 - Sinalização vertical de rotunda – exemplo de arruamento [ALMEIDA ROQUE, 2007]

4.3 SINALIZAÇÃO VERTICAL DE INFORMAÇÃO

É um conjunto de sinais verticais susceptíveis de serem utilizados na sinalização de orientação de uma intersecção de nível, e inclui os seguintes sinais:

- Sinais de pré-sinalização (I2b);
- Sinais de selecção de vias (E1);
- Sinais de direcção (J1, J2 ou J3);

- Sinais de confirmação (L1).

Estes painéis apresentam um diagrama esquemático do cruzamento associado à identificação da estrada e aos principais destinos a seguir através de cada saída. A legibilidade do painel depende da disposição da informação e da capacidade desta ser visualizada atempadamente.

As saídas devem estar promovidas de sinalização de posição que facilite ao condutor uma melhor orientação dos destinos a seguir. Essa informação é geralmente expressa nas setas direccionais, que podem conter mais do que um destino.

Na existência de um ilhéu separador com dimensões adequadas, essa informação deve estar posicionada no seu interior, no caso da não existência de espaço essa deve ser colocada na delimitação do anel, no lado esquerdo da faixa de rodagem dessa saída.



Figura 40 – Alguns exemplos de sinais verticais informativos [DGV, 2003]

4.4 SINALIZAÇÃO HORIZONTAL

As sinalizações horizontais destinam-se a regular a circulação, prevenir e orientar os utentes das vias públicas, podendo ser complementadas com outros meios de sinalização. Se estas forem de carácter permanente têm sempre cor branca, com excepção da quase totalidade das marcas reguladoras de estacionamento e paragem. Podem ser materializadas por pinturas, lancis, elementos metálicos ou elementos rígidos (separadores New Jersey). Sendo que fora das localidades essas marcas devem ser reflectoras.

Marcas horizontais ou sinalização horizontal existentes, de acordo com o RST:

- Marcas longitudinais;
- Marcas transversais;
- Marcas reguladoras do estacionamento e paragem;
- Marcas orientadoras de sentidos de trânsito;
- Marcas diversas e guias;
- Dispositivos retrorreflectores complementares.

Em rotundas as sinalizações horizontais são aplicadas nas vias de aproximação, nas entradas, saídas e no anel de circulação. São utilizadas para canalizar o tráfego e também para seleccionar por via os utentes.

Para uma correcta utilização desta sinalização em rotundas, é preciso ter um conhecimento do seu funcionamento, características e regras de utilização, para cada tipo de marca faz-se a respectiva descrição recorrendo ao articulado RST e à Norma de Marcas Rodoviárias (NMR) da antiga JAE, para depois se aplicar nas rotundas.

Para além da sinalização vertical existente nas entradas e saídas das rotundas está também deve ser complementada pela linha transversal de cedência de passagem “LBT” (linha branca tracejada) com a relação traço/espço de 0,4/0,3 e 0,3 metros de largura, do tipo (M9 e M9a do RST).

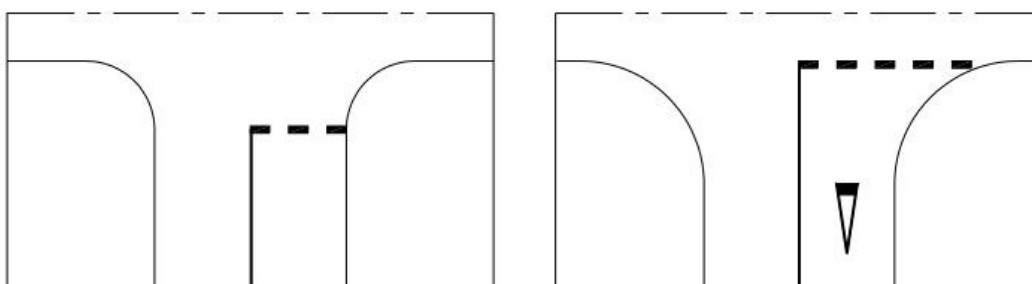


Figura 41 – Tipo de marcas horizontais (M9 e M9a) [Ameida Roque,2007]

5

CONCLUSÃO

Em busca da optimização das soluções continuam os esforços e a procura através de estudos científicos, pesquisas e revisões bibliográficas daquilo que, até aos tempos que correm, já foi alcançado.

A circulação rodoviária não é excepção, pois existe, cada vez mais, uma preocupação em assegurar que esta se faça da melhor forma, garantindo a segurança dos utentes, a melhoria dos acessos, a mobilidade e a diminuição do fluxo de tráfego promovendo a amenidade de circulação, com base em critérios e normas que foram previamente pensados e estudados. Assim sendo, as rotundas ou intersecções giratórias surgiram como forma de garantir uma melhoria e aperfeiçoamento na circulação rodoviária.

Nas primeiras décadas do século passado começaram a surgir as rotundas, não só pelas razões estéticas mas, também, com uma visão já mais próxima da nossa actualidade, a circulação do trânsito.

Contudo, a realidade portuguesa mostra que existem, ainda, algumas lacunas e desconhecimento, relativamente à aplicabilidade e utilização das rotundas, utilizando-as e empregando-as, apenas, como forma de desenvolvimento urbanístico, descuidando o seu principal objectivo ou finalidade que é a de melhorar os fluxos de tráfego e circulação rodoviária.

As rotundas apresentam uma vasta gama de aplicações sendo muitas vezes consideradas como soluções de uso generalizado.

Assim sendo, tornam-se mais indicadas em zonas de transição, ou seja, na entrada de zonas urbanas ou zonas residenciais, permitindo resolver os conflitos de espaços geometricamente complexos e irregulares. Relativamente às condições de circulação permitem, com facilidade, os movimentos de inversão de marcha. Em relação aos ramos afluentes adaptam-se bem à resolução de pontos de conflito entre 3 ou 4 ramos. A definição do número de vias a disponibilizar na rotunda, depende do critério de dimensionamento a privilegiar e, por razões de segurança, deve-se providenciar o número de vias que corresponda às necessidades da procura de tráfego local.

A implantação das intersecções giratórias deve localizar-se em locais visíveis, para que seja notória desde a sua longínqua aproximação. Para além disso, deve evitar-se a implantação de rotundas em zonas longitudinalmente inclinadas, contudo, quando tal não for possível, devem ser garantidas as condições de visibilidade e facilidade de entrada. As zonas planas ou depressão pouco acentuada tornam-se ideais para a implantação da rotunda, enquanto que, a inserção em curvas verticais convexas poderá reverter-se em zonas de percepção inadequada.

As rotundas estão cada vez mais associadas a monumentos e podem contribuir para a valorização urbana, quando bem concebidas. No entanto, verificou-se, ao longo do estudo, que a presença de

artefactos (estátuas, chafarizes, ...) nas rotundas, por um lado, auxiliam na capacidade de percepção mais precocemente e fornecem um sentido paisagístico mas, por outro, podem aumentar os riscos de segurança e causar graves danos em caso de embate nas mesmas.

De acordo com as regras gerais de dimensionamento, importa respeitar alguns critérios de avaliação do desempenho global da geometria, que dizem respeito aos critérios de visibilidade, da homogeneidade do traçado, da canalização e deflexão aplicada aos movimentos de atravessamento. A garantia de bons níveis de capacidade e de segurança rodoviária estabelecem assim a base destas recomendações geométricas.

Assim, é fundamental ter em conta o dimensionamento das entradas: número de vias, a largura e raios/ângulos de entradas; ilhéu separador; definição de bermas e passeios; a disposição dos ramos afluentes; o anel de circulação; a dimensão geral da rotunda e ilha central; o dimensionamento das saídas; sobrelevação; as inclinações longitudinais e transversais; o veículo de projecto; as velocidades de entrada; os critérios de visibilidade (critério de visibilidade de aproximação, visibilidade do anel, visibilidade da entrada, visibilidade das travessias pedonais); a deflexão dos movimentos; a canalização dos movimentos; a via segregada de viragem à direita; o ordenamento para peões; o ordenamento para ciclistas; a integração paisagística e tratamento da ilha central. Todos estes aspectos foram explicados ao longo do corpo do trabalho.

Dentro das vantagens das rotundas pode encontrar-se a moderação da velocidade, ganhos em termos de capacidade e fiabilidade, a diminuição do tempo de espera, a diminuição da poluição atmosférica e sonora, maior flexibilidade e facilidade de integração em praças urbanas, maior segurança e melhor solução para intersecções com mais de quatro ramos. As rotundas, quando comparadas com outro tipo de intersecção tradicional de nível, apresentam uma forma de funcionamento extremamente simples e de fácil compreensão pelos condutores. Por outro lado, apesar da sua fácil inserção e do seu amplo domínio de aplicação, as rotundas não podem ser consideradas como resolução de aplicação generalizada. Podemos encontrar algumas condições desvantajosas no uso das mesmas, tais como, a ocupação de espaço, nem sempre disponível, a dificuldade em estabelecer hierarquias viárias, a sua utilização pode não constituir a medida mais eficaz quando comparada com os sistemas semaforicos que ajustam o tempo de espera às situações reais de circulação, quando coordenadas por sistemas activos de regulação, constituem uma quebra no sistema impossível de controlar, colocando em risco a coordenação da circulação.

Referências Bibliográficas

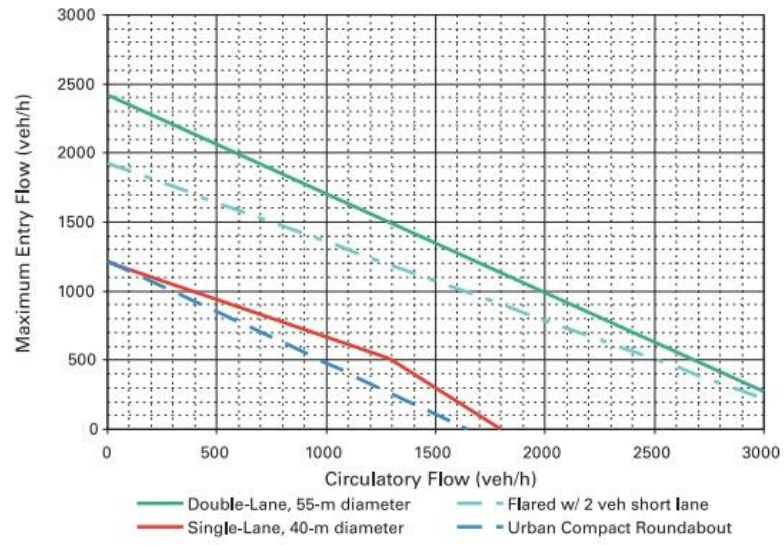
- Almeida Roque, C. *Marcação Rodoviária*. Retirado de de <http://carlosaroque.tripod.com/> 21/05/2010.
- Almeida Roque, C. *Sinalização de Rotundas*. Setembro 2007.
- Akçilk, R., Besley, M. *Differences between the Austroads Roundabout Guide and aaSidra Roundabout Analysis Methods*. Road & Transport Research, pp 44-64, Australian, 2004.
- Bastos Silva, A., Maia Seco, A. *A Aplicação de Rotundas como uma Medida de Acalmia de Tráfego*. 1º Congresso Nacional Sobre Segurança Viária em meio Urbano, Maio 2001.
- Bastos Silva, A., Maia Seco, A. *Dimensionamento de Rotundas, documento Síntese*. Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias IP. s/d.
- Bastos Silva, A., Maia SECO A. *Dimensionamento de Rotundas - Caracterização funcional, dimensionamento operacional e projecto geométrico*. Edição FCTUC, Novembro, Coimbra, 2006.
- Bastos Silva, A., Maia Seco, A., Marques, P. *Dimensionamento de Rotundas. Procedimentos Normativos*. Retirado de <https://webserv.dec.uc.pt/weboncampus/getFile.do?tipo=1&id=723> **DIMENSIONAMENTO DE ROTUNDAS – PROCEDIMENTOS NORMATIVOS**. 27/02/2010.
- Bastos Silva, A., Maia Seco, A. *O Dimensionamento de Rotundas*. 1ª Edição, FCTUC, 1999.
- Department of Transport. *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, 1993.
- Direcção geral de Viação. *Guia de Sinalização Rodoviária*. Julho 2003.
- FHWA. *Roundabouts: An Informational Guide*. U.S. Department of Transport, Federal Highway Administration. Publication N° FHWA-RD-00-067, Virginia, USA, 2000.
- Florida Department of Transportation. *Florida Roundabout Guide*, 1996.
- França, Adalberto Quelhas da Silva, *Sebenta de Vias de Comunicação I*. FEUP, 1995.
- Georges Jacquemart, P.E. *Synthesis of Highway Practice 264, Modern Roundabout Practice*. National Academy press, Washington, 1998.
- JAE. *Norma de Intersecções*. JAE P5/90 Divisão de Estudos e Projectos da Junta, 1990. Autónoma das Estradas, Edição JAE, Lisboa-Portugal
- Kansas Department of Transportation. *Kansas Roundabout Guide, A supplement to FHWA's Roundabouts: An Informational Guide*, Transystems corporation, 2003.
- Normas de Intersecções, Junta Autónoma de Estradas, 1993.
- Pellecuer, L., St-Jacques, M. *T Dernieres avancees sur les carrefours giratoires*. Canadian Journal of Civil Engineering, 2008.
- Textos Didáticos, *Apontamentos de Circulação e Transportes I*. FEUP, 2008.
- Textos Didáticos, *Apontamentos de Engenharia Rodoviária*. IST.
- Taekratok, Thaweesak. *Modern Roundabouts for Oregon*. Oregon Department of Transportation. June, 2008.

Sites:

- [1] www.roumanie-france.ro/33 23/04/2010
- [2] www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=842546 24/02/2010
- [3] <http://asmaisbelasrotundas.blogspot.com/> 03/03/2010
- [4] <http://maps.google.pt/>
- [5] <http://www.estv.ipv.pt/PaginasPessoais/vasconcelos/Documentos/Rotundas.pdf> 27/02/2010.
- [6] http://blog.mlive.com/annarbornews/2007/08/going_round_the_roundabouts.html

Anexos

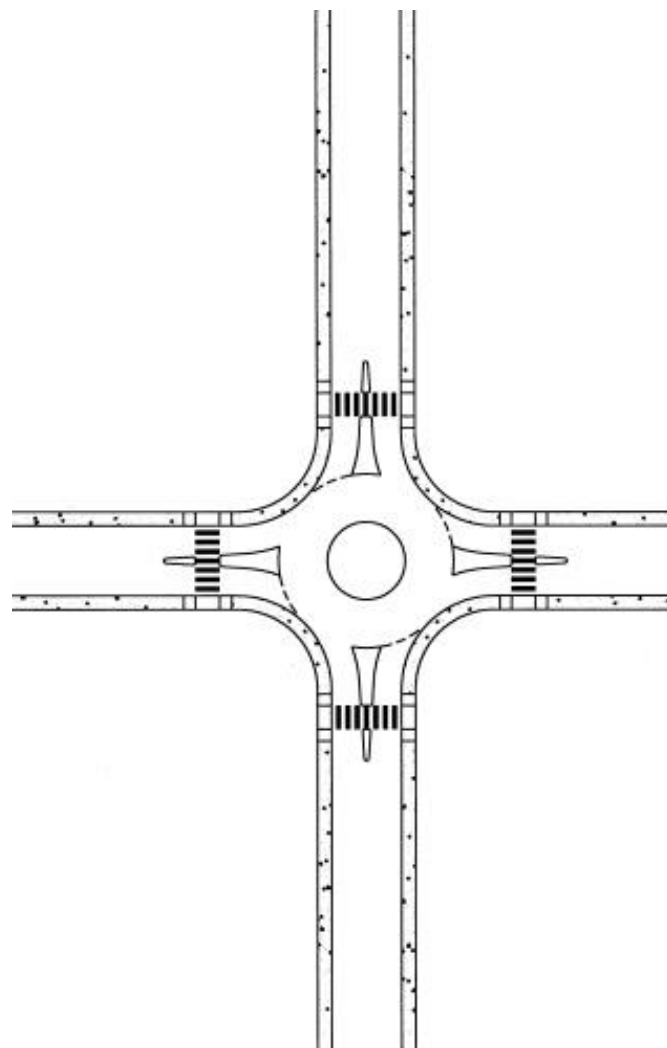
Anexo 1 – Capacidades de uma rotunda com uma única via circulação e outra com 2 vias de circulação.



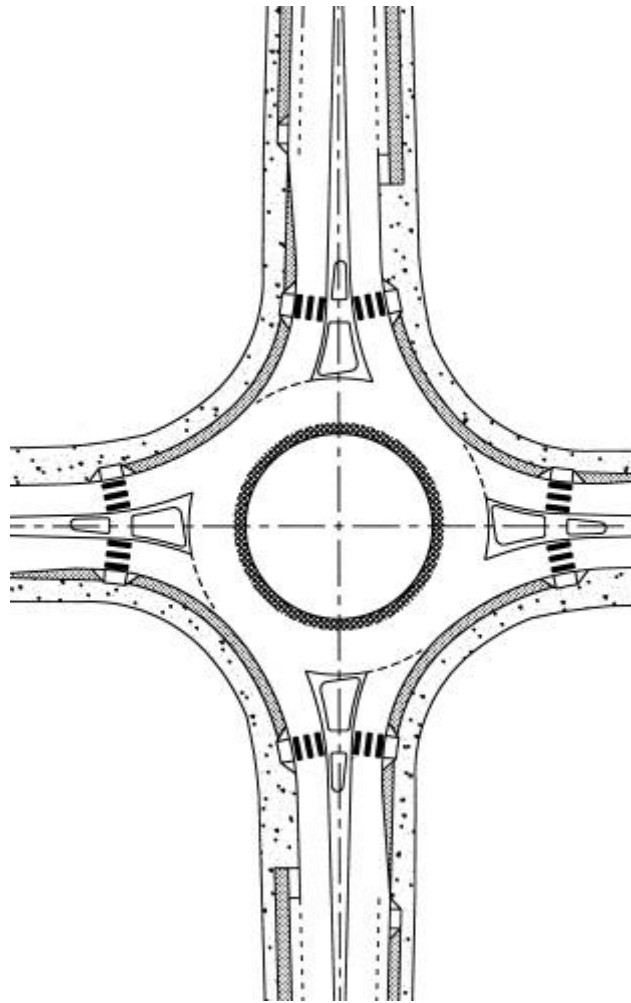
Anexo 2 – Faixas de ocupação dos veículos para rotundas normais – Dimensão mínima do anel

Raio da Ilha Central, incluindo berma (Ri) (m)	NÚMERO DE VIAS DE CIRCULAÇÃO NO ANEL					
	UMA VIA		DUAS VIAS		TRÊS VIAS	
	Faixa de ocupação (1 veículo articulado) f_a (m)	DCI (m)	Faixa de ocupação (1 veículo articulado + 1 veículo ligeiro) f_b (m)	DCI (m)	Faixa de ocupação (1 veículo articulado + 2 veículos ligeiros) f_c (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	11,9	39,8	--	--
8	7,6	33,2	11,5	41,0	--	--
9	7,3	34,6	11,2	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

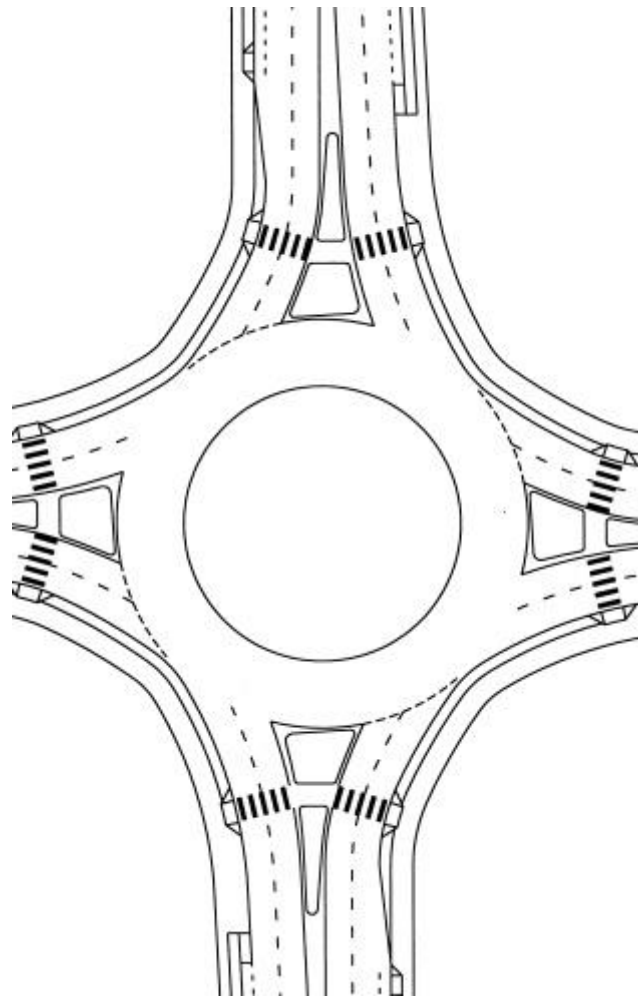
Anexo 3 – Exemplo tipo de uma mini-rotunda



Exemplo tipo de uma rotunda de uma única via de entrada



Exemplo tipo de uma rotunda com duas vias de entrada



Anexo 4 – Modelos de Previsão de Capacidades em Entradas de Rotundas

Modelos de Previsão de Capacidades em Entradas de Rotundas

Conceito de Capacidade

Em intersecções giratórias, o conceito de capacidade geral da rotunda não tem um significado prático já que não existe uma correspondência unívoca entre a geometria de uma rotunda e a sua capacidade, sendo o seu desempenho geral uma função da repartição direccional do tráfego.

As diferentes abordagens teóricas desenvolvidas assentam na definição de capacidade da entrada como uma função das suas características geométricas prevaletentes e do tráfego que a atravessa frontalmente (tráfego conflituante prioritário).

Tendo por base as intersecções giratórias regidas pela regra da “prioridade a quem circula no anel”, pode-se definir a capacidade de uma entrada (Q_e) 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.

A capacidade é portanto um parâmetro que reflecte o nível de serviço avaliado em relação ao débito máximo e é expressa em unidades de veículos ligeiros equivalentes (uvle) por unidade de tempo.

Métodos de Cálculo de Capacidades

Considera-se habitualmente a existência de três tipos de modelos:

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 e resultantes dos diferentes modelos de previsão, demonstraram que o comportamento das curvas da capacidade observada em Portugal se identifica melhor com os modelos de base estatística. Foi ainda demonstrado que o modelo do TRL (de origem inglesa), foi o que mais se aproximou da capacidade geométrica observada (ordenadas na origem), enquanto que o modelo do SETRA (de origem francês), foi o que melhor representou a importância do tráfego conflituante (inclinação das rectas).

O MÉTODO DO TRL

A Inglaterra é incontestavelmente o país com maior tradição na utilização de rotundas e o “Transport Road and Research Laboratory”, actualmente TRL, a instituição com maior número de trabalhos desenvolvidos nesse campo. O modelo de base estatística, desenvolvido por Kimber (Kimber, 1980), foi deduzido com base em técnicas de regressão múltipla não linear e suportado por extensas recolhas de campo que abrangeram 86 rotundas, cobrindo uma vasta gama de variabilidade de parâmetros geométricos e totalizando mais de 11 000 minutos de observação em entradas saturadas.

A formulação geral resultante é uma função linear, que relaciona a capacidade da entrada com o fluxo conflituante e a geometria prevalecente da intersecção:

$$Q_c = K(F - f_c * Q_c) \quad \text{se } f_c \times Q_c < F \quad \text{ou,}$$
$$Q_c = 0 \quad \text{se } f_c \times Q_c > F$$

onde:

Q_c 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:

$$K = 1 - 0.00347(\phi - 30) - 0.978\{(1/r) - 0.05\}$$

$$F = 303X_2$$

$$f_c = 0.21t_p(1 + 0.2X_2)$$

$$t_p = 1 + 0.5/(1 + M)$$

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

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

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

onde (ver Fig. 48):

v - largura da via na aproximação da rotunda

e - largura efectiva da entrada junto à linha de cedência de passagem 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)

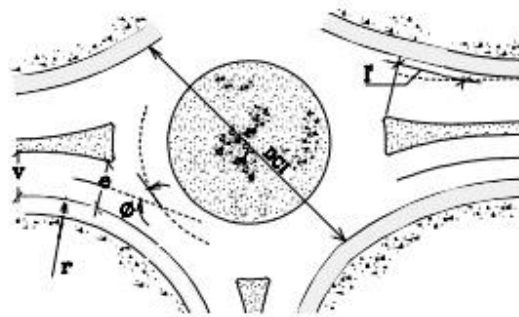


Fig. 48 – Parâmetros geométricos

MODELO DA FCTUC

O modelo aqui apresentado resulta da calibração da estrutura do modelo original do TRL, com base numa base de dados real, obtida por observação de um conjunto de rotundas saturadas portuguesas.

A amostra de dados que suportou a análise é, no entanto ainda limitada, nomeadamente no que concerne à gama de variabilidade dos diferentes parâmetros geométricos, tendo-se observado 11 entradas de 8 rotundas nacionais, 4 das quais (correspondentes a 6 entradas) localizadas em zona urbana e 4 (com 5 entradas) em zona peri-urbana, totalizando 952 minutos de observações.

A formulação resultante é a apresentada abaixo, a qual permitiu explicar 61,7% da variação observada:

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

com:

$$K = 1 - 0.00163(\phi - 30) - 3.431 \left\{ \frac{1}{r} - 0.05 \right\}$$

$$F = 335.47 X_2$$

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

$$t_d = 1 + \frac{0.983}{(1 + M)}$$

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

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

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

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

Anexo 5 – Glossário

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 da via de entrada e 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.

Deflexão mínima dos movimentos – Critério de projecto que procura assegurar que nenhum condutor consegue atravessar uma determinada intersecção sem estar sujeito a uma curvatura mínima e portanto a um esforço mínimo, determinado pela imposição de acelerações transversais. Permite salvaguardar que o atravessamento de uma rotunda não pode ser realizado com velocidades demasiado elevadas.

Diâmetro da ilha central – Diâmetro do círculo formado pelo lancil delimitador da ilha central. Não se trata necessariamente de um único diâmetro podendo, sempre que se considere conveniente, utilizar concordâncias formadas por diversas curvas circulares.

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 prioridade de uma determinada entrada. Uma rotunda pode não dispor de um único DCI.

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, por forma a parar antes de atingir esse mesmo obstáculo.

Faixa de ocupação do veículo de projecto (fo) – 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.

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

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

Linha de cedência de passagem – Linha em “traço descontínuo” que, junto às entradas, delimita o anel e onde se necessário o condutor deve parar e aguardar por um intervalo entre veículos aceitável, para se inserir na corrente prioritária.

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

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

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

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

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

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.

Tempo de espera – Atraso resultante das interacções entre veículos numa intersecção.

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

Trajectória de mínimo incómodo – Trajectória mais rectilínea associada a um determinado movimento direccional que é possível inscrever respeitando apenas os elementos físicos restritivos e ignorando eventuais linhas de sinalização horizontal.

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 as estradas urbanas de maior importância integradas nas designadas vias estruturantes, onde a função de mobilidade é praticamente exclusiva.

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

Via distribuidora local – Pertencente á classe de vias onde a função de acessibilidade prevalece em relação à de circulação. Constituem o tipo de vias que interligam as vias estruturantes às vias de acesso local, sendo o conjunto de vias mais importantes no conjunto de vias locais constituindo a rede básica dos espaços locais, nomeadamente dos espaços residenciais.

Via distribuidora principal – Pertencente á classe de vias onde a função de mobilidade prevalece em relação ao acesso. Constitui o tipo de vias que interliga as vias estruturantes às vias locais, complementando as vias colectoras no conjunto das vias estruturantes.

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.