



Segurança Viária em Corredores de Ônibus

Diretrizes para integrar segurança viária ao planejamento, projeto e operação de sistemas BRT, corredores e faixas de ônibus

Documento de Trabalho - Road Test

Nicolae Duduta, Claudia Adriazola-Steil, Carsten Wass, Dario Hidalgo, Luis Antonio Lindau



Relatores:

NICOLAE DUDUTA

Projetista de transportes,
EMBARQ, WRI Center for Sustainable Transport
nduduta@wri.org

CLAUDIA ADRIAZOLA-STEIL

Diretora, Programa de Saúde e Segurança Viária, EMBARQ
cadriazola@wri.org

CARSTEN WASS

Diretor Técnico, Consia Consultants
wass@consia.com

DARIO HIDALGO

Diretor, Programa de Pesquisa e Prática, EMBARQ
dhidalgo@wri.org

LUIS ANTONIO LINDAU

Presidente, EMBARQ Brasil
tlindau@embarqbrasil.org

ÍNDICE



| | |
|----|--|
| 05 | SUMÁRIO EXECUTIVO |
| 06 | VISÃO GERAL DA PESQUISA |
| 07 | METODOLOGIA |
| 08 | PRINCIPAIS RESULTADOS |
| 14 | DIRETRIZES DE SEGURANÇA PARA SISTEMAS DE ÔNIBUS |
| 15 | VISÃO GERAL |
| 16 | SEGMENTOS DA VIA |
| 30 | INTERSEÇÕES |
| 50 | ESTAÇÕES |
| 62 | TRANSBORDOS E TERMINAIS |
| 78 | APÊNDICE A: ANÁLISE DE DADOS DE ACIDENTES |



AVISO

ESCOPO DAS DIRETRIZES

O objetivo deste manual é oferecer às empresas de ônibus, jurisdições municipais e organizações regionais e internacionais um conjunto de critérios de projeto, planejamento e operação que devem ser considerados no planejamento e projeto de novos sistemas de ônibus.

As informações contidas neste manual não devem, de forma alguma, ser usadas como normas para basear um projeto final; em vez disso, devem ser consideradas como critérios recomendados e orientações gerais que, em conjunto com decisões de engenharia e uma análise completa das condições atuais dos corredores, ajudam a desenvolver os projetos finais. Além disso, estas são diretrizes globais que representam conceitos gerais e não são específicas de determinados países ou locais. Logo, as diretrizes nem sempre poderão ser adaptadas às normas de projeto e sinalização locais. As normas locais de sinalização horizontal e vertical devem sempre ser consultadas antes da aplicação das recomendações apresentadas neste manual.

SUMÁRIO

EXECUTIVO

Segurança viária é um aspecto que frequentemente não é abordado em publicações e manuais de planejamento de BRT (Bus Rapid Transit) e corredores de ônibus.

Esta é uma lacuna importante. Estima-se que os acidentes de trânsito se tornem a quinta maior causa de morte prematura em todo o mundo em 2030, à frente de HIV/AIDS, violência, tuberculose e qualquer tipo de câncer, e a maior parte deste crescimento deve ocorrer em cidades de países em desenvolvimento, segundo a Organização Mundial da Saúde.

O impacto dos sistemas de ônibus sobre a segurança viária é especialmente importante, porque estes sistemas tendem a estar situados ao longo das principais vias arteriais urbanas. Um estudo na cidade de Nova Iorque verificou que as vias arteriais correspondem a apenas 15% da rede viária da cidade, mas que nestas vias ocorrem mais de 65% dos atropelamentos graves (Viola et al. 2010). Um estudo na Cidade do México indicou que todos os tipos de acidentes estão intensamente concentrados nas principais vias arteriais, onde usualmente estão localizadas as principais rotas de ônibus (Chias Becerril et al., 2005).

A implantação de um sistema de transporte público de alta capacidade em qualquer via arterial urbana atrai um grande número de pedestres para ruas onde os riscos já são altos. Em Nova Iorque, as ruas com rotas de ônibus apresentam consistentemente taxas mais altas de atropelamento do que qualquer outra rua (Viola et al. 2010). Em Porto Alegre, Brasil, a presença de corredores e estações de ônibus está correlacionada com taxas mais altas de atropelamento em meio de quadra (Diogenes e Lindau, 2009). Por outro lado, a implantação de alguns sistemas BRT, como o Macrobus em Guadalajara e o TransMilenio em Bogotá, reduziu significativamente os acidentes e mortes nestes corredores. Parece haver uma ampla gama de potenciais impactos sobre a segurança devido à implantação de sistemas de ônibus.

A EMBARQ tem realizado pesquisas sobre os aspectos de segurança viária do planejamento, projeto e operação de sistemas de ônibus, coletando e analisando dados de mais de 30 corredores de ônibus de cidades de países em desenvolvimento, conduzindo inspeções e auditorias de segurança viária de BRTs e corredores de ônibus, além de entrevistas com especialistas em segurança viária e funcionários de agências de transporte público para aprender com suas experiências com acidentes nos corredores de ônibus.

Com isso, foi possível identificar os principais riscos e os tipos mais comuns de acidentes nos corredores de ônibus e também o impacto sobre a segurança viária das diferentes características de projeto de sistemas BRT e corredores de ônibus. Os resultados indicaram que alguns elementos-chave do desenho dos sistemas de ônibus podem melhorar significativamente a segurança (por exemplo, estações fechadas com plataformas altas, sistemas em faixas centrais com proibição de conversão à esquerda), enquanto que outros podem aumentar o risco de acidentes (por exemplo, faixas em contrafluxo). Os resultados também indicaram que a geometria da via e especialmente o tamanho e a complexidade das interseções são importantes preditores das taxas de acidente em corredores de ônibus. Com base nestes resultados, foi possível formular um conjunto de recomendações de projeto para melhorar a segurança viária nos corredores de ônibus.

Este manual foi projetado como um guia prático para planejadores de transporte, engenheiros e urbanistas envolvidos no planejamento e projeto de sistemas de ônibus. O manual cobre uma ampla gama de tipos de sistemas e corredores, desde sistemas com faixas prioritárias para ônibus junto ao meio-fio até sistemas BRT de alta capacidade e múltiplas faixas.

Embora o objetivo principal do manual seja ilustrar como melhorar a segurança em projetos de sistemas de ônibus, também foi considerado como cada conceito de projeto impacta as operações de ônibus (em termos de capacidade de passageiros do sistema, requisitos de tamanho da frota e capacidade de acúmulo de pedestres das áreas ao redor das estações) assim como a acessibilidade.

Os projetos demonstrados neste manual representam as melhores práticas que equilibram a segurança de todos os usuários da via com a necessidade de fornecer alta capacidade de passageiros, assim como proporcionar espaços urbanos acessíveis e habitáveis.

ROAD TEST

Esta é uma versão preliminar das diretrizes e deve ser considerada como uma obra em andamento. Está sendo publicada pela EMBARQ como uma versão piloto a ser testada nos Centros EMBARQ e parceiros externos em 2012. Em 2013, a EMBARQ vai coletar as contribuições destes parceiros e incorporá-las na versão final do manual, a ser publicado no mesmo ano.

CIDADES E SISTEMAS DE ÔNIBUS INCLUÍDOS NO PROJETO



INSPEÇÕES DE SEGURANÇA VIÁRIA

- Rede Integrada de Transporte, Curitiba
- TransMilenio, Bogotá
- BRTS, Delhi
- Janmarg, Ahmedabad

MODELOS DE FREQUÊNCIA DE ACIDENTES

- Cidade do México
- Guadalajara
- Porto Alegre
- Bogotá

COLETA DE DADOS E ANÁLISES ADICIONAIS

- Linha 2 do Metrobús, Cidade do México
- Macrobús, Guadalajara
- TransMilenio, Bogotá
- Megabús, Pereira,
- BRT, Santiago de Cali
- SIT, Arequipa
- Corredores de ônibus, Belo Horizonte
- Boqueirão e Eixo Sul, Curitiba
- Southeast Busway, Brisbane
- Rota 99 e Burrard Street, Vancouver
- BRTS, Delhi
- Corredores de ônibus, São Paulo

AUDITORIAS DE SEGURANÇA VIÁRIA NOS CORREDORES DE ÔNIBUS

- Metrobús linhas 3, 4 e 5, Cidade do México
- SIT, Arequipa, Peru
- Corredores de ônibus, Belo Horizonte
- BRT Transcarioca, Rio de Janeiro
- BRT Transoeste, Rio de Janeiro
- BRT, Izmit, Turkey
- BRT, Indore, India

FONTES DE DADOS

- Ministerio de Transporte, Colombia, 2011
- TRANSMILENIO S.A. 2011
- Gobierno de la Ciudad de México 2011
- Secretaría de Vialidad y Transporte de Jalisco, 2011
- Estudios, Proyectos y Señalización Vial S.A. de C.V. 2011
- Empresa Pública de Transporte e Circulação (EPTC), Porto Alegre, 2011
- Matricial Engenharia Consultiva Ltda., 2011
- Empresa de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte S.A. (BHTrans), 2011
- Urbanização de Curitiba S.A. (URBS), 2011
- Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo, 2011
- Delhi Police, 2010
- Road Safety and Systems Management Division, Brisbane, Queensland, Australia, 2009
- Insurance Corporation of British Columbia (ICBC), 2011
- Instituto Metropolitano Protransporte de Lima, 2012

METODOLOGIA

A fim de avaliar o desempenho de segurança de sistemas de ônibus ao redor do mundo, foi usada uma combinação de análises de dados de acidentes, inspeções de segurança viária e discussões com especialistas em segurança das agências de transporte público.

COLETA DE DADOS

Não havia bases de dados publicamente disponíveis sobre acidentes nos corredores de ônibus em nenhuma das cidades usadas neste estudo. Por isso, foi realizado um esforço em conjunto com os centros EMBARQ no México, Brasil, Região Andina, Turquia e Índia para coletar as informações necessárias para o estudo. Foram compilados dados de acidentes usando as diferentes fontes de dados disponíveis localmente (ver página oposta). A maior parte dos dados foi fornecida por órgãos municipais, estaduais ou federais responsáveis pela manutenção de bancos de dados sobre segurança viária. Para o sistema TransMilenio de Bogotá, foram recebidas informações adicionais do órgão operador do BRT.

MODELOS DE FREQUÊNCIA DE ACIDENTES

No caso de quatro cidades do conjunto de dados usados na pesquisa (Cidade do México, Guadalajara, Porto Alegre e Bogotá), a qualidade e a quantidade dos dados coletados foram suficientes para gerar modelos estatísticos. Foram desenvolvidos modelos de frequência de acidentes separadamente para colisões de veículos e atropelamentos, usando regressão binominal negativa ou de Poisson dependendo das características dos dados.

Estes modelos permitiram explicar diferenças nas taxas de acidentes em diferentes locais, usando fatores como geometria da via e da interseção, desenho do sistema de ônibus e uso do solo. Foram criadas quatro variáveis para a configuração dos sistemas de ônibus: BRT em faixas centrais, corredor de ônibus em faixas centrais, faixa de ônibus junto ao meio-fio e faixa de ônibus em contrafluxo, correspondentes aos tipos de corredores de ônibus presentes nas cidades para as quais os modelos foram desenvolvidos.

Os modelos de frequência de acidentes ajudaram a identificar importantes fatores preditores das taxas de acidentes em corredores de ônibus, como tamanho e complexidade das interseções e a presença de faixas em contrafluxo, e estes resultados foram utilizados para embasar as recomendações presentes neste manual. A metodologia e os principais resultados dos modelos estão descritos em detalhe no Apêndice A.

ANÁLISE DE DADOS ADICIONAIS

Para vários corredores de ônibus incluídos na pesquisa (Macrobús, Guadalajara; Avenida Caracas, TransMilenio, Bogotá; e BRTS, Delhi), havia dados de acidentes de antes e depois da implantação dos sistemas. Com isso, foi possível avaliar o impacto geral sobre a segurança da implantação de cada sistema de ônibus.

Por outro lado, para a maioria dos outros corredores da pesquisa, não havia informações suficientes para realizar uma análise estatística robusta. Apesar disso, foi possível obter informações úteis analisando tipos de acidentes frequentes e seus fatores contribuintes e comparando taxas de acidentes em diferentes corredores ou seções de corredores.

INSPEÇÕES DE SEGURANÇA VIÁRIA

A EMBARQ fez parcerias com auditores certificados de segurança viária para realizar inspeções em vários sistemas de ônibus existentes, como a RIT em Curitiba, TransMilenio em Bogotá, Janmarg em Ahmedabad e o corredor BRTS em Delhi. As inspeções foram úteis para identificar problemas de segurança nestes corredores que nem sempre aparecem nos dados de acidentes (como por exemplo, manutenção da sinalização horizontal e dos semáforos, comportamento perigoso dos usuários da via, etc.).

DISCUSSÕES COM AS EQUIPES DOS ÓRGÃOS DE TRANSPORTE PÚBLICO

Como parte das auditorias e inspeções de segurança viária, foram realizadas reuniões com equipes de cada agência de transporte público para saber de sua experiência com segurança viária em seus sistemas de ônibus. Estas reuniões revelaram outras preocupações de segurança que não aparecem nos dados de acidentes, tais como acidentes menores causados pela parada inadequada dos ônibus nas estações, e também diversas iniciativas de segurança implantadas em cada corredor de ônibus. Em alguns casos, isto também ajudou a identificar questões de segurança que não foram capturadas nos dados, como a crescente preocupação da equipe do Metrobús, na Cidade do México, com o risco de acidentes entre veículos BRT e ciclistas que usam as faixas de ônibus.

RESULTADOS

IMPACTO DE UM SISTEMA BRT SOBRE A SEGURANÇA

O impacto geral sobre a segurança decorrente da implantação de um sistema de ônibus em um corredor varia de acordo com as características do sistema e com as condições existentes da via. Nas cidades de países em desenvolvimento, a implantação de sistemas BRT geralmente mostrou impacto positivo sobre a segurança. Outros tipos de corredores, como os corredores de ônibus ou faixas prioritárias para ônibus, nem sempre tiveram o mesmo impacto positivo.

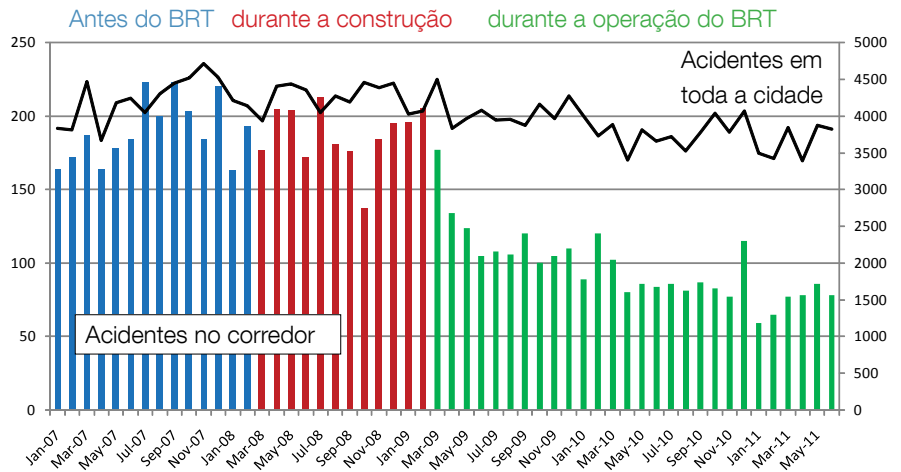
Um BRT geralmente implica em eliminar diversas faixas de tráfego misto de uma via, separando o tráfego de ônibus dos outros modos e adicionando ou expandindo um canteiro central (no caso de BRTs em faixas centrais), o que reduz o comprimento das travessias de pedestres. As operações de ônibus ficam melhor organizadas, usualmente substituindo vários serviços por uma única agência operadora, com normas comuns para o treinamento de motoristas, manutenção de veículos, etc.

O Macrobus em Guadalajara (que substituiu uma faixa prioritária de ônibus existente em uma via com tráfego pesado) e o TransMilenio em Bogotá (que substituiu um corredor de ônibus central existente) contribuíram para reduzir significativamente os acidentes e as mortes nestes corredores. Os acidentes caíram 46% na Calz. Independencia em Guadalajara depois que o Macrobus começou a operar e houve redução de 60% das mortes na Av. Caracas, em Bogotá, depois da implantação do primeiro corredor TransMilenio.

Nem todos os sistemas de ônibus têm o mesmo impacto positivo sobre a segurança. O corredor de ônibus Cristiano Machado, em Belo Horizonte, Brasil, continua sendo a via com as maiores frequências de acidentes em toda a cidade, apesar da presença de um corredor de ônibus em faixas centrais. Em Delhi, depois da implantação do sistema BRTS, as mortes no trânsito inicialmente aumentaram no corredor e os acidentes entre ônibus e pedestres se tornaram preocupantes.

MACROBÚS, GUADALAJARA

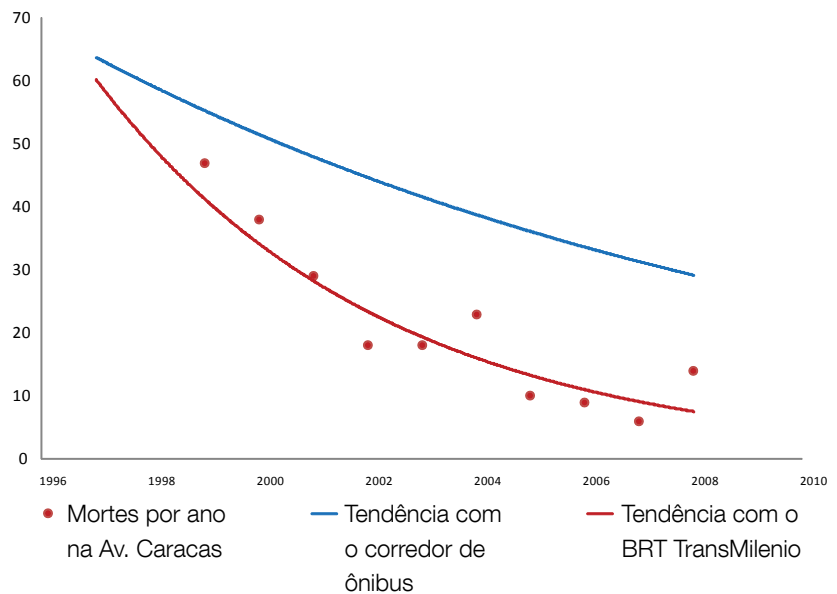
Acidentes antes e depois da implantação do BRT Macrobus



Fonte: Computado de estatísticas fornecidas pela Secretaria de Vialidad y Transporte de Jalisco, 2011.

AV. CARACAS, TRANSMILENIO, BOGOTÁ

Acidentes com vítimas fatais antes e depois da implantação do BRT TransMilenio



Fonte: computado de estatísticas fornecidas por TRANSMILENIO S.A. 2011, Ministerio de Transporte de Colombia 2011 e OMS 2009.

IMPACTO ALÉM DO CORREDOR

Depois de constatar a redução de acidentes em 46%, em média, no corredor BRT Macrobus em Guadalajara, foi preciso verificar se a melhoria da segurança no corredor poderia ter sido contrabalançada por um aumento dos acidentes na área ao redor do corredor. A hipótese era que a queda nos acidentes poderia simplesmente refletir uma redução nos volumes de tráfego e que o tráfego teria sido simplesmente desviado, levando o risco do corredor BRT para outras vias.

Os dados de acidentes em Guadalajara sugerem que isto não ocorreu. Uma zona de segurança de 3 km foi selecionada em ambos os lados do corredor. Esta largura foi escolhida a fim de incluir diversas vias arteriais importantes paralelas ao corredor BRT, incluindo a Calz. del Ejercito, Av. Alcalde e Av. 16 de Septiembre. Os acidentes na zona de segurança (excluindo o corredor BRT) diminuíram em 8% durante o mesmo período de tempo e esta tendência também ocorreu no resto da cidade.

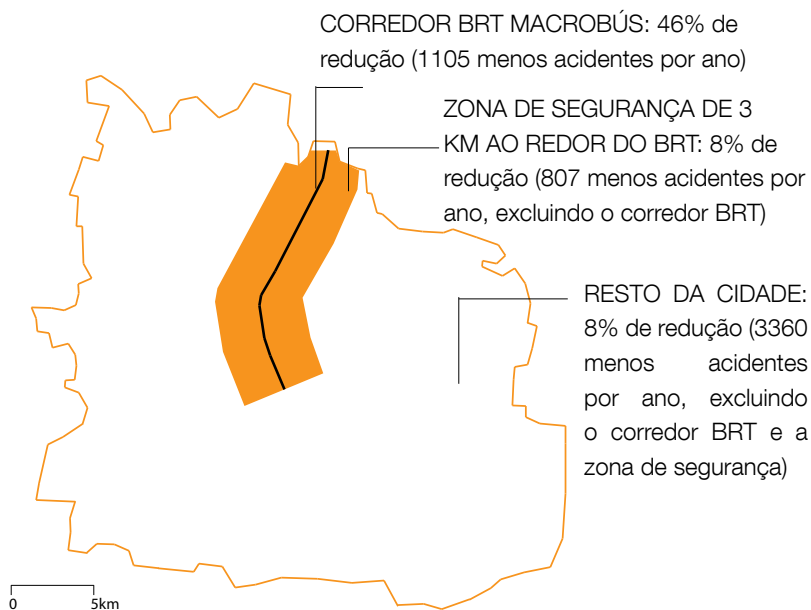
No entanto, em menor escala, houve várias situações em que a implantação do BRT transferiu o risco de acidentes para as vias próximas. Conversões à esquerda foram proibidas na maioria das interseções – uma característica comum em sistemas BRT em faixas centrais. As conversões à esquerda foram substituídas por alças, redirecionando o tráfego pela vizinhança.

Algumas das alças melhor projetadas não tiveram qualquer impacto sobre os acidentes nas vias ao redor do corredor BRT, mas em pelo menos um caso (na interseção entre a Calz. Independencia e a Av. Circunvalación) a criação da alça resultou em um aumento dos acidentes nas interseções ao longo da mesma. Esta alça em particular começa antes da interseção e envolve uma conversão à direita e duas conversões à esquerda para os veículos que tentam chegar à Av. Circunvalación.

Os acidentes anuais na interseção no corredor BRT com a proibição de conversão à esquerda passaram de 93 antes do BRT para 43 depois da sua implantação. No entanto, na Av. Circunvalación com Siete Colinas (onde os veículos atualmente fazem conversão à esquerda em direção à Av. Circunvalación), os acidentes aumentaram de 17 para 42. Considerando estas duas interseções em conjunto, houve uma redução do número de acidentes, de 110 para 85. As melhorias no corredor BRT foram parcialmente anuladas pelo aumento do risco nas vias próximas.

MACROBÚS, GUADALAJARA

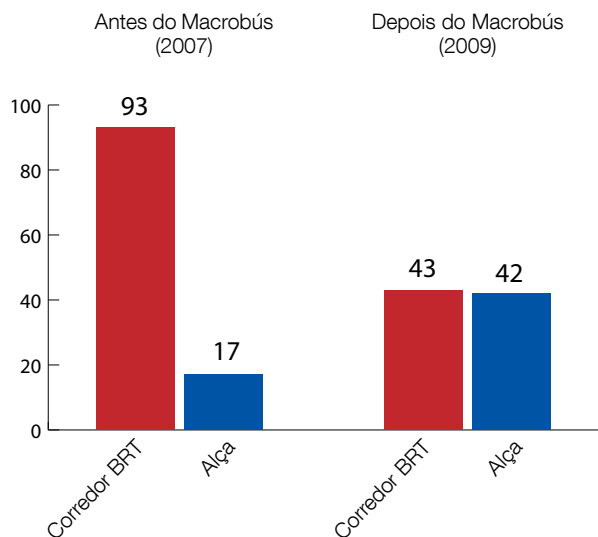
Acidentes por ano antes e depois da implantação do BRT Macrobus em toda la cidade



Fonte: computado de estatísticas fornecidas pela Secretaria de Vialidad y Transporte de Jalisco, 2011.

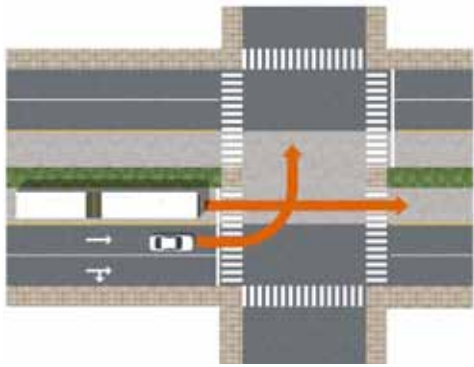
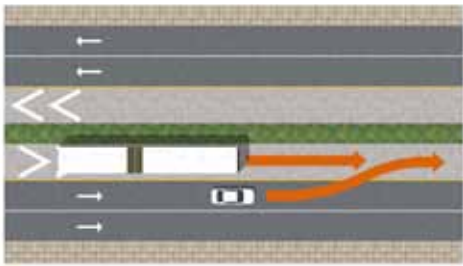
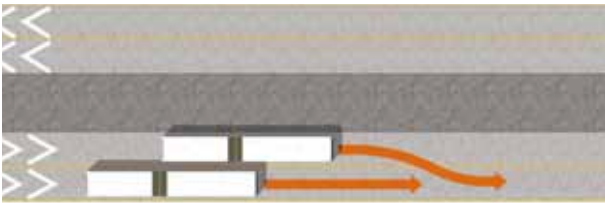
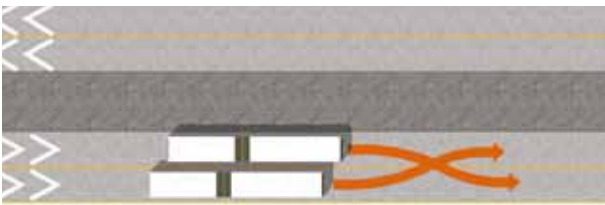
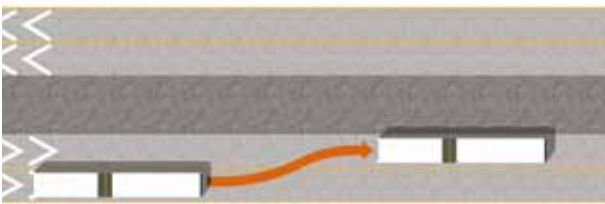
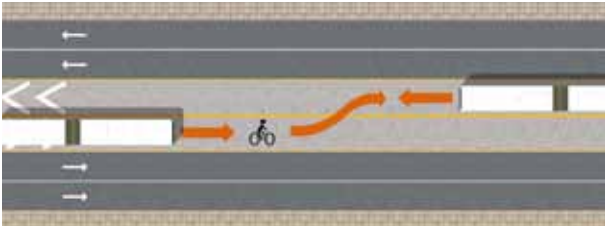
MACROBÚS, GUADALAJARA

Acidentes por ano antes e depois da implantação do BRT Macrobus em duas interseções: uma no corredor e uma na alça que substitui uma conversão à esquerda.



Fonte: computado de estatísticas fornecidas pela Secretaria de Vialidad y Transporte de Jalisco, 2011.

VISÃO GERAL DA PESQUISA

| Diagrama do acidente | Descrição |
|---|--|
|  | <p>CONVERSÕES À ESQUERDA SOBRE AS FAIXAS DE ÔNIBUS Este é o tipo mais comum de colisão entre os ônibus e o tráfego geral nos corredores de ônibus em faixas centrais.</p> |
|  | <p>VEÍCULOS NÃO-AUTORIZADOS NAS FAIXAS DE ÔNIBUS Situação comum de acidentes em todos os corredores com faixas de ônibus dedicadas onde não há forte separação física entre as faixas de ônibus e as outras faixas. Veículos não-autorizados entram nas faixas de ônibus e colidem com os ônibus.</p> |
|  | <p>ACIDENTES ENTRE ÔNIBUS LOCAIS E EXPRESSOS Tipo de acidente potencialmente grave em sistemas BRT de faixas múltiplas com faixas expressas. Os ônibus locais que saem da estação e entram na faixa expressa colidem com os ônibus expressos que passam pela estação em alta velocidade.</p> |
|  | <p>ABALROAMENTO ENTRE ÔNIBUS NA ESTAÇÃO Tipo de acidente menos grave, que ocorre quando um ônibus está tentando sair da estação e outro ônibus tenta acessar a estação a partir da faixa expressa.</p> |
|  | <p>COLISÃO TRASEIRA NA PLATAFORMA DA ESTAÇÃO Ocorre quando um ônibus está se aproximando de outro para chegar à plataforma da estação, mas está rápido demais e colide com o ônibus da frente.</p> |
|  | <p>ACIDENTES ENTRE BRT E CICLISTAS Ciclistas que usam as faixas de ônibus frequentemente fazem manobras evasivas quando os ônibus se aproximam e podem ser atingidos por outro ônibus ou perder o controle e atingir os divisores de faixa, resultando em ferimentos sérios.</p> |

Todos os diagramas acima representam tipos de acidentes confirmados em um ou vários dos seguintes sistemas de ônibus: Metrobús da Cidade do México, Macrobus de Guadalajara, TransMilenio e Metropolitano de Lima.

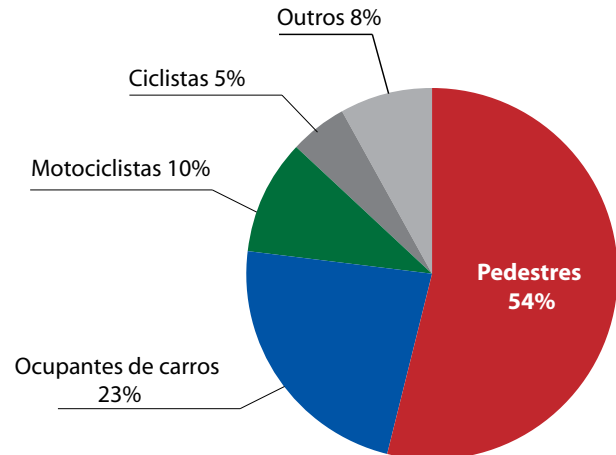
ACIDENTES FATAIS

Embora estejam envolvidos em apenas 7% dos acidentes registrados nos corredores de ônibus, os pedestres representam mais da metade das mortes em todos os sistemas de ônibus incluídos na pesquisa.

Portanto, melhorar a segurança nos corredores de ônibus é principalmente uma questão de prevenir acidentes com pedestres. Em geral, os pedestres estão em risco quando atravessam o corredor em meio de quadra, geralmente distante das travessias de pedestres. O risco é especialmente alto quando próximo das estações de transporte público, uma vez que os passageiros frequentemente tentam atravessar as faixas de ônibus ao sair ou entrar na estação, seja para não pagar a passagem ou simplesmente para tomar um atalho.

Isto sugere que o desenho do acesso às estações pode ter um papel crucial na melhoria da segurança em corredores de ônibus, junto com a implantação de melhor infraestrutura para as travessias de pedestres em meio de quadra.

MORTALIDADE NOS CORREDORES DE ÔNIBUS POR TIPO DE USUÁRIO DA VIA

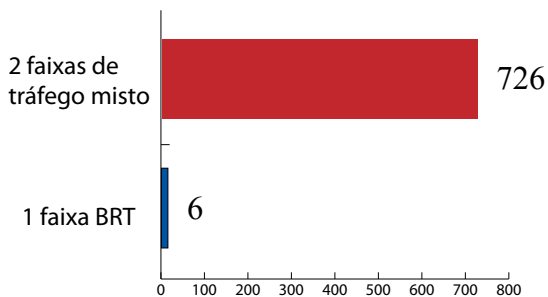


Inclui dados do Metrobús (Cidade do México), TransMilenio, Macrobús (Guadalajara), BRTS (Delhi), Janmarg (Ahmedabad), RIT (Curitiba), assim como dos corredores de ônibus de Porto Alegre e Belo Horizonte.

LOCALIZAÇÃO DOS ACIDENTES

ACIDENTES

Média mensal de acidentes entre 2009 e 2011 no corredor BRT Macrobús em Guadalajara, por tipo de faixa



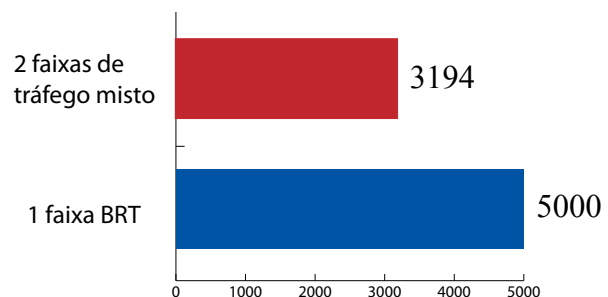
Fonte: computado a partir de dados de acidentes fornecidos pela Secretaria de Vialidad y Transporte de Jalisco, 2011, contagens de tráfego fornecidas por Estudios, Proyectos y Señalización Vial S.A. de C.V. 2011; dados de passageiros do BRT computados de Hidalgo e Carrigan, 2010.

Faixas de ônibus dedicadas podem reduzir significativamente a incidência de acidentes envolvendo ônibus. Conseqüentemente, corredores de ônibus segregados de alta capacidade podem levar mais passageiros de forma consideravelmente mais segura do que as faixas de tráfego misto. Isto é mostrado através dos dados do BRT Macrobús de Guadalajara, que possui uma faixa BRT e duas faixas de tráfego misto por sentido. A faixa BRT tem capacidade de levar 30% mais passageiros e, ao mesmo tempo, tem mais de 90% menos acidentes do que as faixas de tráfego misto.

Há duas conclusões importantes baseadas nas estatísticas apresentadas nesta página. A primeira é que estar dentro do ônibus é o lugar mais seguro em um

VOLUME DE PASSAGEIROS

Volume de passageiros na hora de pico no BRT Macrobús em Guadalajara por tipo de faixa (dados de 2009)



corredor de ônibus, enquanto que ao caminhar para sair ou entrar na estação os passageiros estão em maior risco (ver gráfico acima de mortalidade por tipo de usuário da via). Por isso, garantir acessos seguros às estações é essencial para melhorar a segurança dos passageiros de ônibus.

A segunda é que, em um corredor de ônibus, mais de 90% dos acidentes geralmente ocorrem fora das instalações destinadas aos ônibus (ou seja, faixas e estações) e não envolvem ônibus. Isto foi confirmado por resultados semelhantes no TransMilenio e implica que a segurança de um corredor de ônibus depende mais do layout das faixas de tráfego misto do que da configuração do sistema de ônibus em si.

DESENHO DAS VIAS E INTERSEÇÕES

Os resultados do modelo de frequência de acidentes indicam que a largura da via e o tamanho e a complexidade das interseções são os mais importantes preditores de frequências de acidentes em corredores de ônibus. Isto faz sentido, já que na maioria dos corredores de ônibus incluídos na amostra, apenas cerca de 9% de todos os acidentes ocorreram nas faixas de ônibus, enquanto que a grande maioria dos acidentes ocorreu nas faixas de tráfego geral e não envolveu ônibus.

O número de aproximações por interseção é um dos principais problemas, junto com o número de faixas por aproximação e a distância máxima de travessia de pedestres. As interseções onde é permitido que o tráfego da via transversal atravesse o corredor de ônibus são mais perigosas do que as interseções onde apenas conversões à direita são permitidas. Os modelos de frequência de acidentes e seus resultados são discutidos detalhadamente no Apêndice A.

LOCALIZAÇÃO DAS FAIXAS DE ÔNIBUS

Foi verificada uma correlação significativa entre faixas de ônibus no contrafluxo na Cidade do México e em Porto Alegre com altas taxas de acidente com veículos e pedestres. A consistência dos resultados através dos diferentes modelos sugere que as faixas no contrafluxo são a configuração mais perigosa para sistemas de ônibus, de todas as incluídas neste estudo (veja a discussão detalhada sobre contrafluxo na página ao lado).

Também foi verificado que as faixas de ônibus junto ao meio-fio em Guadalajara aumentaram as taxas de acidente com veículos e pedestres, enquanto que na Cidade do México a existência destas faixas não teve efeito estatisticamente significativo sobre a frequência de acidentes. Embora os resultados não sejam sempre significativos, geralmente tendem a indicar que as faixas junto ao meio-fio podem ser problemáticas, embora não tanto quanto as faixas em contrafluxo.

A avaliação do impacto sobre a segurança de sistemas em faixas centrais é um pouco mais complexa, uma vez que as alterações introduzidas em uma via por um BRT em faixas centrais são medidas por diversas variáveis. Diferentes dos corredores de ônibus junto ao meio-fio, que geralmente substituem apenas uma faixa de tráfego (ou



Uma interseção estreita de quatro aproximações ao longo da Linha 1 do Metrobús na Cidade do México. Imagem do Google Earth.



Uma interseção ampla e complexa ao longo da Linha 1 do Metrobús na Cidade do México. Este tipo de desenho tem mais problemas de segurança do que a interseção simples e estreita da imagem acima. Imagem do Google Earth.

de estacionamento) por uma faixa de ônibus, os sistemas em faixas centrais implicam em uma reconfiguração maior da via. Geralmente, essa reconfiguração envolve introduzir um canteiro central em substituição a uma faixa de tráfego, diminuir a distância da travessia de pedestres criando um refúgio para pedestres no centro da via, e a criação de mais interseções em T e menos interseções de 4 aproximações ao longo do corredor. Embora a variável que leva em conta a presença do BRT em faixas centrais na Cidade do México não tenha sido significativa, as variáveis que levam em conta o número de faixas, canteiro central, distância de travessia e número de aproximações estão todas correlacionadas com menores taxas de acidentes e foram significativas em todos os modelos. O Apêndice A apresenta mais informações detalhadas sobre a análise dos dados de acidentes.

CONTRAFLUXO

Faixas em contrafluxo são a configuração mais perigosa de qualquer sistema de ônibus e, em geral, devem ser evitadas.

1. SISTEMA DE ÔNIBUS BI-DIRECIONAL EM VIA DE MÃO ÚNICA

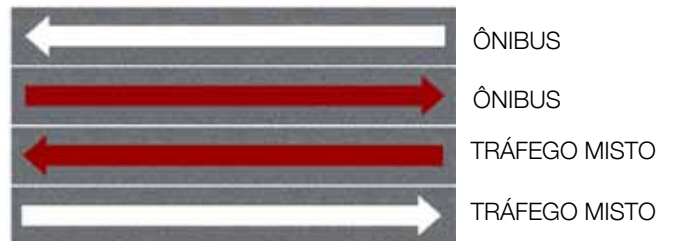
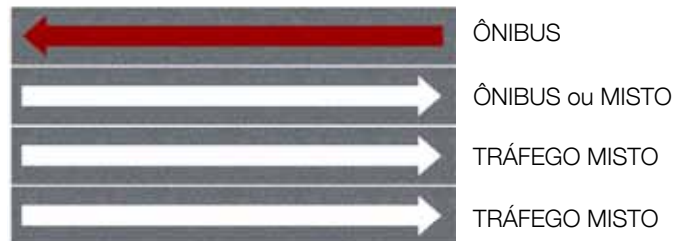
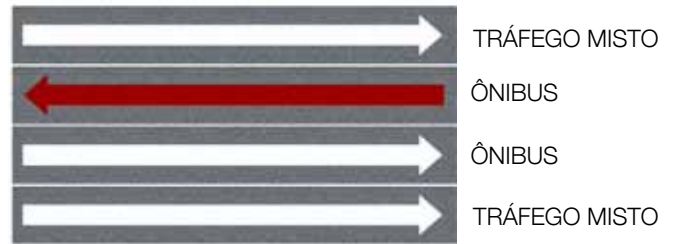
Este tipo de configuração viária está presente na Linha 2 do Metrobús na Cidade do México, e de forma um pouco diferente em algumas seções da Linha 3 do Metrobús. Isso cria uma situação incomum para os pedestres que atravessam a via, pois o tráfego vem de uma direção inesperada.

2. FAIXA NO CONTRAFLUXO JUNTO AO MEIO-FIO

Este é o tipo de faixa no contrafluxo incluída nos modelos de frequência de acidentes usados na pesquisa. Na Cidade do México, a presença deste tipo de faixa no contrafluxo foi correlacionada com um aumento de 55% em acidentes envolvendo somente veículos e um aumento de 39% em atropelamentos ($p < 0,001$). Em Porto Alegre, foi correlacionada com um aumento de 74% em acidentes envolvendo somente veículos ($p < 0,05$), e não houve dados suficientes para desenvolver um modelo para acidentes com pedestres. Esta variável foi altamente significativa em todos os modelos, e se mostrou um dos preditores mais robustos de frequência de acidentes em ambas cidades. Parte do Eixo Sul do sistema BRT de Curitiba apresenta este tipo de configuração e tem quatro vezes mais acidentes por km de faixa do que o restante da linha, que apresenta configuração padrão em faixas centrais. É importante destacar que o contrafluxo é no centro da cidade, o que pode contribuir para a diferença nas taxas de acidentes.

3. ALINHAMENTO LATERAL

Uma seção do corredor de ônibus Southeast de Brisbane, Austrália, apresenta este tipo de configuração. O tipo mais frequente de atropelamento nesta seção – e o único acidente fatal incluído nos dados recebidos – envolveu colisões entre ônibus operando na faixa no contrafluxo e pedestres atravessando a via.



Diagramas ilustram diferentes configurações de contrafluxo encontradas na análise de dados e inspeções de segurança viária. As faixas em contrafluxo estão indicadas em vermelho.



A faixa em contrafluxo junto ao meio-fio no Eje 2 Oriente na Cidade do México (a via tem uma faixa de ônibus na direção sul e cinco faixas na direção norte, embora nesta imagem apareçam apenas duas). O caminhão estava trafegando ilegalmente em direção ao sul na faixa de ônibus e tentou ultrapassar o ônibus quando este parou na estação. Os carros que se dirigem para o norte estão tentando sair do seu caminho. Observe também o pedestre carregando mercadorias na faixa de ônibus. Foto de Carsten Wass.

SEGURANÇA COMO PARTE DO PLANEJAMENTO DE UM SISTEMA DE ÔNIBUS

Embora as considerações de segurança possam ser incluídas em qualquer estágio do planejamento, projeto e operação de um sistema de ônibus, é sempre mais econômico incluí-las já nos estágios iniciais do planejamento.

AUDITORIAS DE SEGURANÇA VIÁRIA

Uma auditoria de segurança viária é o exame sistemático de um projeto viário ou projeto de transporte, com o objetivo de identificar os principais riscos de segurança e propor soluções para eliminá-los. Auditorias podem ser conduzidas em qualquer estágio de planejamento ou projeto.

Uma auditoria deve ser realizada por um auditor certificado de segurança viária, que deve ser independente da equipe do projeto, garantir objetividade e evitar conflitos de interesse. As auditorias sempre envolvem uma avaliação das plantas do projeto e devem ser acompanhadas de uma visita ao local para entender melhor as condições do mesmo.

O auditor entrega um relatório à equipe de projeto ou ao proprietário do projeto, que são responsáveis por implantar as recomendações do auditor.

INSPEÇÕES DE SEGURANÇA VIÁRIA

Uma inspeção é uma avaliação sistemática de uma via ou projeto de transporte existente. O objetivo é semelhante àquele da auditoria, identificando riscos à segurança e propondo soluções.

As auditorias tendem a ser uma ferramenta mais econômica para melhorar a segurança do que as inspeções. É sempre mais fácil mudar um desenho do que modificar parte de uma infraestrutura existente.

Uma inspeção, por outro lado, pode identificar mais problemas de segurança, uma vez que o auditor pode observar a via em operação e também estudar os dados de acidentes, além de avaliar o projeto da via. As inspeções também podem lidar com problemas como a manutenção da sinalização horizontal e vertical.

As inspeções são mais eficazes se realizadas antes que obras de manutenção importantes e outras melhorias sejam programadas no corredor. Assim, as recomendações da inspeção podem ser incorporadas nas obras planejadas.

DIRETRIZES DE PROJETO

As diretrizes de segurança viária de projetos não têm o objetivo de substituir auditorias ou inspeções e devem ser consideradas como uma ferramenta complementar. Devem ser consultadas antes de começar o processo de planejamento de um novo corredor de ônibus e usadas como referência durante todo o desenvolvimento do projeto. Podem ser muito eficazes para melhorar a segurança, uma vez que ajudam planejadores, engenheiros e projetistas a integrar as considerações de segurança durante o planejamento e projeto de um corredor.

Diferentes das auditorias e inspeções, no entanto, as diretrizes não são específicas de determinados locais e, portanto, as suas recomendações não são diretamente aplicáveis a um corredor ou interseção específicos. É de responsabilidade dos encarregados do projeto do corredor adaptar as recomendações gerais das diretrizes às condições locais específicas, considerando as normas aplicáveis de projeto e sinalização.

DIRETRIZES DE PROJETO

As diretrizes de projeto estão organizadas nos seguintes capítulos:

- PROJETO DA VIA
- INTERSEÇÕES
- ESTAÇÕES E ACESSO ÀS ESTAÇÕES
- TRANSBORDOS E TERMINAIS

Cada capítulo começa com uma visão geral dos principais problemas de segurança a serem considerados ao projetar a infraestrutura em questão. Em seguida, são apresentados conceitos de projeto para configurações comuns de vias, interseções ou estações.

TIPOS DE SISTEMAS DE ÔNIBUS INCLUÍDOS

Embora enfoque sistemas BRT em faixas centrais, este manual inclui os seguintes tipos de corredores de ônibus:

- BRT em faixas centrais (faixa única ou várias faixas) com ônibus de piso alto e estações fechadas no canteiro central
- Corredores de ônibus em faixas centrais com ônibus de piso baixo e porta à direita e estações abertas
- BRT ou corredores de ônibus junto ao meio-fio
- Faixas de ônibus prioritárias junto ao meio-fio
- Serviço convencional de ônibus em tráfego misto

CONCEITOS DE PROJETO

Cada conceito é ilustrado através de uma figura em 3D do projeto, que inclui considerações sobre a geometria, sinalização vertical e horizontal, mobiliário urbano, iluminação e tipos de pavimento. Foram usadas anotações para discutir aspectos específicos de cada projeto, sugerir alternativas de projeto ou recomendar dimensões específicas quando apropriado.

Além de ilustrar as melhores práticas de projeto, é apresentada uma análise dos impactos de cada escolha de projeto em termos de segurança viária e de operações de ônibus.

ANÁLISE DE SEGURANÇA

A análise de segurança enfoca os riscos e tipos de acidentes mais comuns para o tipo de projeto em questão. Foram utilizadas partes da análise de dados ou observações de

inspeções de segurança viária para ilustrar os problemas de segurança.

OPERAÇÕES DE ÔNIBUS

Para cada conceito de projeto, também é apresentada uma breve discussão de como as características de segurança recomendadas podem afetar as operações de ônibus. O foco é dado especialmente a dois aspectos da operação que são indicadores-chave do desempenho do sistema: velocidades operacionais e capacidade de passageiros.

A capacidade de passageiros de um sistema de ônibus geralmente é limitada pela configuração da estação e não pelas interseções ou seções em meio de quadra (Hidalgo, Lleras e Hernandez 2011, Lindau et al. 2011). Nenhuma das recomendações propostas neste manual tem qualquer impacto sobre os elementos de projeto das estações que afetam a capacidade, tais como número de baias de paradas por estação, presença de faixas de ultrapassagem e de serviços expressos, etc. Algumas das recomendações, como a instalação de travessias de pedestres controladas por semáforo em meio de quadra, podem reduzir a capacidade dos corredores nestas seções. No entanto, mesmo esta capacidade reduzida será geralmente muito mais alta do que a capacidade das estações. Por exemplo, um sistema BRT de uma faixa por sentido com uma fase de verde de 50 segundos em um ciclo semafórico de 90 segundos em uma travessia de pedestres em meio de quadra terá capacidade de pouco mais de 55.000 passageiros por hora por sentido (pass/h/sentido) naquele local (computado de Hidalgo, Lleras e Hernandez, 2011). Esta capacidade é três vezes maior do que a capacidade máxima de uma estação deste tipo de sistema, que é de 15.000 pass/h/sentido (Lindau et al., 2011).

Por outro lado, algumas recomendações têm impacto importante sobre a velocidade dos ônibus. Em alguns casos, recomenda-se a redução da velocidade dos ônibus em locais específicos (por exemplo, quando ônibus expressos se aproximam de estações) para resolver um tipo específico de acidente. Em outros casos, as recomendações de colocar mais travessias de pedestres em meio de quadra ou prolongar a fase semafórica para pedestres que atravessam o corredor também podem contribuir para reduzir a velocidade dos ônibus. Nestas situações, isto é indicado no texto associado à figura, tendo em mente que a segurança deve ser prioritária quando for necessário equilibrar segurança, velocidade e capacidade.

PROJETO DA VIA

PRINCIPAIS PROBLEMAS DE SEGURANÇA

TRAVESSIAS DE PEDESTRES EM MEIO DE QUADRA

Em qualquer centro urbano denso, especialmente nos países em desenvolvimento, podem ser esperados grandes volumes de pedestres que atravessam a via, esperam e caminham nas faixas de ônibus. Além disso, os pedestres geralmente percebem as faixas de ônibus como mais seguras do que as faixas de tráfego geral por causa do menor volume de tráfego. Na Cidade do México, foi observado que os pedestres que atravessam o BRT em meio de quadra atravessam metade da via e então esperam nas faixas do BRT por uma brecha no tráfego no sentido oposto antes de completar a travessia.

Este problema é especialmente grave nas periferias. Geralmente, as vias principais das periferias haviam sido estradas que não foram reformadas para refletir as mudanças no uso do solo à sua volta na medida em que a cidade se expandiu. Conseqüentemente, os ônibus nestes locais frequentemente trafegam em vias de alta velocidade com poucas oportunidades de travessia para os pedestres e as quadras são consideravelmente mais longas do que no centro da cidade, chegando às vezes a mais de 1 km.

A velocidade comercial é um indicador-chave de desempenho de BRTs e corredores de ônibus, mas aumentar o limite de velocidade dos ônibus pode contribuir para aumentar a gravidade dos atropelamentos. Limitar as oportunidades de travessia dos pedestres através da colocação de barreiras e gradis mitiga os riscos, mas também reduz a acessibilidade dos pedestres e transforma o corredor de ônibus em uma grande barreira urbana. O risco deste tipo de intervenção é que os pedestres simplesmente pulem por cima, retirem ou danifiquem os gradis, continuando a atravessar no meio da quadra.

Para resolver este problema, recomenda-se realizar um estudo de acessibilidade para o novo corredor de ônibus a fim de identificar os locais com maior demanda de travessia de pedestres em meio de quadra. As observações em inspeções de segurança viária sugerem que as áreas ao redor de mercados importantes têm alto volume de pedestres e incidência particularmente alta de travessias em meio de quadra. Outros usos do solo a considerar são instalações educacionais (especialmente grandes campi), prédios religiosos e centros de eventos. É importante garantir que estes locais tenham infraestrutura adequada para a travessia de pedestres e, onde não houver este tipo de infraestrutura, deve haver gradis ou outras barreiras para prevenir a travessia imprudente.



Pedestres atravessando o corredor BRTS de Delhi em meio de quadra. Foto EMBARQ.



Pedestre atravessando um corredor TransMilenio em meio de quadra. Foto EMBARQ.

Nas páginas a seguir, são apresentados diversos conceitos de projeto de segmentos de vias que abordam os principais problemas de segurança discutidos na página anterior.

Os tipos de vias escolhidos, sua largura e os tipos de sistemas de ônibus mostrados são baseados em configurações comuns de vias encontradas nos corredores de ônibus incluídos no conjunto de dados usado para embasar este manual.

Primeiramente é apresentado um corredor BRT em faixas centrais e são destacadas as diferentes formas de gerenciar as travessias de pedestres em meio de quadra, dependendo do tipo de via: via arterial urbana, via estreita e via expressa.

Todos os princípios de projeto e características de segurança apresentados para corredores BRT em faixas centrais podem também ser aplicados a todos os outros tipos de sistemas de ônibus. Estes princípios e características incluem medidas moderadoras de tráfego para as faixas de tráfego misto, configuração de

travessias de pedestres em meio de quadra, passarelas para pedestres, infraestrutura para bicicletas, gradis e a colocação adequada de vegetação ao longo do corredor.

Há também algumas questões específicas de corredores de ônibus junto ao meio-fio, especialmente acerca da localização recomendada de gradis. Por isso, também foi incluído uma seção específica para faixas de ônibus junto ao meio-fio, ilustrando a importância da colocação de gradis ou canteiros plantados ao longo da calçada para prevenir que o tráfego de pedestres ocupe as faixas de ônibus.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Travessia em meio de quadra em uma via arterial urbana..... | 18 |
| Travessia em meio de quadra em uma via estreita..... | 20 |
| Passarelas para pedestres..... | 22 |
| Gradis..... | 24 |
| Infraestrutura para bicicletas e vegetação..... | 26 |
| Projeto viário para faixas junto ao meio-fio..... | 28 |

SEGMENTOS DA VIA - BRT / CORREDOR DE ÔNIBUS EM FAIXAS CENTRAIS TRAVESSIA EM MEIO DE QUADRA EM UMA VIA ARTERIAL URBANA

Todas as travessias de pedestres em sistemas de ônibus situados em vias arteriais urbanas devem ser semaforizadas.

Recomenda-se usar travessias de pedestres escalonadas em meio de quadra. Se for configurada como mostra a figura, os pedestres no canteiro central estarão sempre de frente para o sentido do tráfego na parte da via que irão atravessar. Uma travessia escalonada também aumenta a área disponível para os pedestres esperarem se não conseguirem atravessar a via em uma fase.

Um problema comum das travessias em meio de quadra é que podem ser usadas por veículos para fazer o retorno. A colocação de um ou vários pilaretes pode eliminar este problema para veículos maiores. A travessia escalonada também pode desencorajar motociclistas a tentar fazer o retorno.



Os veículos nem sempre param no semáforo com luz vermelha para a travessia de pedestres em meio de quadra. Recomenda-se reduzir este risco colocando lombadas ou outros dispositivos de redução de velocidade antes da travessia como forma de pelo menos garantir que os veículos cheguem à travessia em baixa velocidade. Para as faixas de ônibus, isto poderia ser feito através do treinamento e fiscalização dos motoristas.

SEGURANÇA

As travessias em meio de quadra nas vias arteriais urbanas devem ser sempre semaforizadas. Esta é a característica de segurança mais importante para os pedestres, uma vez que estas travessias geralmente estão localizadas em seções do corredor com quadras mais longas, onde a velocidade do tráfego pode ser maior.

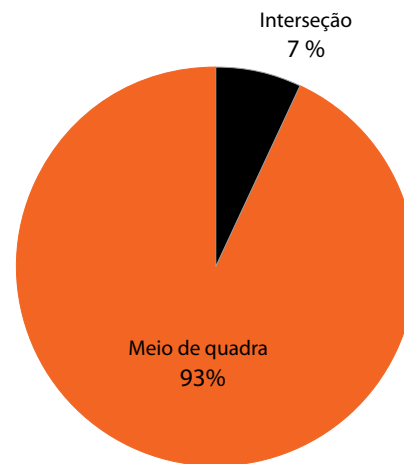
A duração ideal da fase verde para pedestres deve dar tempo suficiente para que os pedestres atravessem toda a via em uma única fase. Recomenda-se considerar uma velocidade de caminhada de 1,2 metros/segundo (m/s) na maioria dos casos e 1 m/s em áreas onde mais de 20% dos pedestres são idosos para determinar a duração da fase verde para pedestres (HCM 2010).

Também recomenda-se usar um canteiro central e instalar uma ilha de refúgio para pedestres no meio da travessia. Nossas pesquisas demonstram que as ilhas de refúgio podem melhorar consideravelmente a segurança de pedestres.



Pedestres fazendo travessia imprudente através das faixas de ônibus no BRT TransMilenio em Bogotá. Foto EMBARQ.

LOCALIZAÇÃO DE ATROPELAMENTOS EM PORTO ALEGRE, BRASIL



Calculado a partir de dados fornecidos pela Empresa Pública de Transporte e Circulação (EPTC), Porto Alegre, 2011

OPERAÇÕES

A capacidade máxima de um corredor BRT de faixa única sem ultrapassagem nas estações geralmente é 15.000 pass/h/sentido (Lindau et al. 2011). Para um corredor que usa duas faixas por sentido, junto com uma combinação de serviços local e expresso e plataformas múltiplas nas estações, a capacidade pode chegar a 43.000 pass/h/sentido (Hidalgo e Carrigan, 2011).

A capacidade de passageiros do corredor de ônibus nesta travessia em meio de quadra varia de 40.000 a 52.000 pass/h/sentido por faixa, dependendo da duração e da configuração do ciclo semaforizado. Esta capacidade é significativamente maior do que a capacidade prática do sistema. Instalar travessias em meio de quadra nos locais onde são esperados altos volumes de pedestres, portanto, não deve apresentar impacto negativo sobre a capacidade de passageiros.

Colocar travessias de pedestres em meio de quadra ao longo de trechos do corredor que não têm interseções pode reduzir a velocidade média operacional do sistema de ônibus. Embora a velocidade seja um indicador-chave de desempenho de sistemas de ônibus, especialmente de BRTs, a segurança dos pedestres deve ser sempre prioritária.

SEGMENTOS DA VIA - BRT / CORREDOR DE ÔNIBUS EM FAIXAS CENTRAIS TRAVESSIA EM MEIO DE QUADRA EM UMA VIA ESTREITA

Vias mais estreitas na área do centro da cidade usualmente têm volumes mais altos de pedestres. Neste caso, é importante reduzir a velocidade dos ônibus para que os motoristas tenham tempo de reagir a conflitos com os pedestres e para garantir que os ônibus possam parar em uma distância mais curta.

Este tipo de solução foi implantado no Eje Ambiental de Bogotá – uma seção de corredor BRT com apenas tráfego de ônibus e pedestres –, onde a velocidade máxima dos ônibus do TransMilenio é de 20 km/h, enquanto que no resto do sistema é de 60 km/h.

Os pilaretes evitam que os carros estacionem de forma ilegal na calçada. Também se recomenda colocar pelo menos um pilarete no meio das ilhas de refúgio de pedestres para evitar que carros tentem fazer o retorno na travessia em meio de quadra.

Sempre que os pilaretes forem colocados em faixas de pedestres ou ilhas de refúgio, é importante garantir que sejam espaçados corretamente para permitir que carrinhos de bebê e cadeiras de rodas possam passar.

Distância mínima recomendada entre os pilaretes: 1,2 metros



Esta configuração de via tem apenas uma faixa de tráfego misto por sentido e um espaço de segurança entre esta faixa e a calçada. O espaço de segurança pode ser usado como faixa de estacionamento, área plantada, ciclovias ou colocação de chicanas para reduzir a velocidade do tráfego próximo de travessias de pedestres em meio de quadra.



Este sinal deverá indicar aos condutores a presença da chicana.

SEGURANÇA

O atraso de pedestres é uma questão importante a considerar quando se projetam travessias em meio de quadra. Quanto mais os pedestres tiverem que esperar o sinal verde para atravessar, maior a probabilidade de que atravessem no vermelho.

O Highway Capacity Manual 2010 (HCM 2010) recomenda manter o atraso de pedestres menor do que 30 segundos, sendo que o ideal seria menos de 10 segundos, se possível.

A chave para manter baixo o atraso de pedestres é evitar uma fase longa de vermelho para pedestres. Os exemplos abaixo ilustram as implicações de duas configurações de tempo semafórico sobre o atraso de pedestres.

O exemplo 1 busca minimizar o atraso para pedestres e isto é feito encurtando o ciclo semafórico e a fase de verde para os ônibus. O atraso é de menos de 10 segundos, como recomendado pelo HCM e a capacidade do corredor de ônibus de faixa única, de 36.300 pphpd, continua maior do que a capacidade típica de uma estação.

O exemplo 2 busca maximizar a capacidade de passageiros do corredor de ônibus. O ciclo semafórico é mais longo, de 90 segundos, e a fase de verde dos ônibus também é mais longa. Nestas condições, o atraso de pedestres é consideravelmente mais longo, mas ainda assim menor do que 30 segundos.

OPERAÇÕES

Como esta via é mais estreita que a do exemplo anterior, o tempo de verde necessário para os pedestres atravessarem a rua em apenas uma fase é mais curto. Consequentemente, é possível obter uma capacidade maior de passageiros nesta travessia em meio de quadra e, ao mesmo tempo, manter baixo o atraso médio de pedestres.

É importante observar que, em ambos os casos, a capacidade desta travessia seria consideravelmente maior do que a capacidade real do sistema, que é limitada pelas estações. Recomenda-se, portanto, usar um ciclo mais curto e maximizar a fase verde para pedestres para desencorajar os pedestres a atravessarem na luz vermelha.

Na página ao lado, sugere-se considerar a redução da velocidade dos ônibus neste tipo de via, se o volume de pedestres for especialmente alto ao longo do corredor. Em termos de operações, isto afeta mais o tamanho da frota de ônibus do que a capacidade. Com um limite mais baixo de velocidade, a agência de transporte público pode precisar colocar mais ônibus para transportar o mesmo número de passageiros.

CÁLCULO DO ATRASO DE PEDESTRES:

$$d_p = \frac{(C - g_{walk,mi})^2}{2C}$$

Onde d_p é o atraso de pedestres, C é a duração do ciclo semafórico e $g_{walk,mi}$ é o tempo efetivo de caminhada para os pedestres atravessarem o corredor de ônibus. Todas as medidas estão em segundos. $g_{walk,mi}$ pode ser estimado como igual à duração da fase verde para pedestres mais quatro segundos. Fonte: HCM 2010.

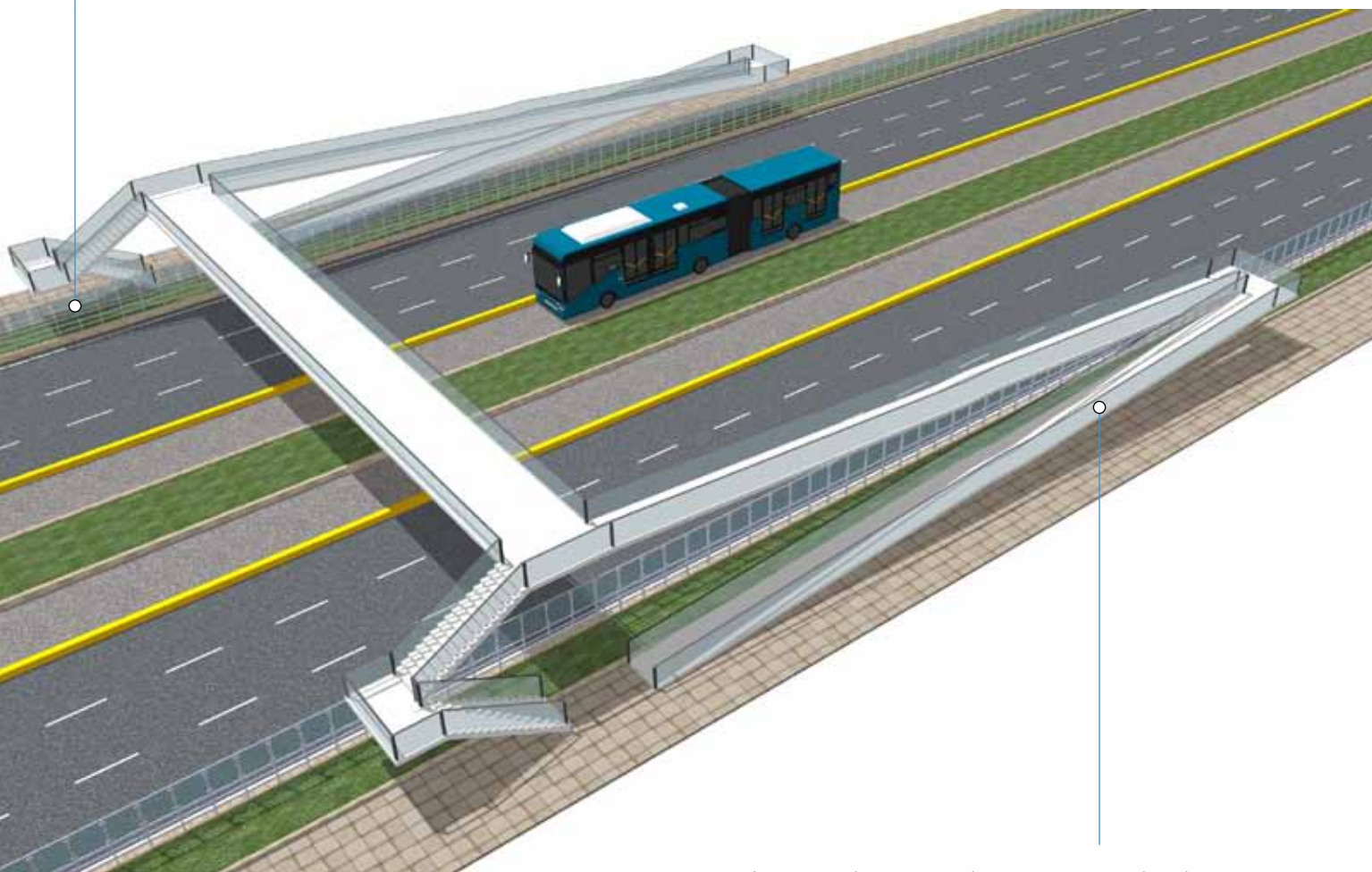
EXEMPLOS:

| | v ônibus (s) | C(s) | Ca (pphpd) | dp (s) |
|-----------|--------------|------|------------|--------|
| Exemplo 1 | 30 | 70 | 36.300 | 9,3 |
| Exemplo 2 | 50 | 90 | 47.000 | 19,3 |

Onde v ônibus é a duração da fase verde para o corredor de ônibus em segundos, C é a duração do ciclo semafórico em segundos, Ca (pphpd) é a capacidade de passageiros por faixa do corredor de ônibus (em passageiros por hora por sentido) e dp é o atraso de pedestres, em segundos

SEGMENTOS DA VIA - BRT / CORREDOR DE ÔNIBUS EM FAIXAS CENTRAIS PASSARELAS PARA PEDESTRES

As passarelas para pedestres precisam ter gradis ao longo da beira da calçada. É frequente que pedestres tentem saltar sobre os gradis ou dar a volta para ultrapassá-los, mesmo que isto envolva um desvio, para não usar a passarela. Os gradis devem se estender por todo o comprimento da seção do corredor onde a travessia de pedestres em nível não é permitida.



As passarelas para pedestres precisam de infraestrutura adaptada para cadeirantes. Geralmente é uma rampa com inclinação de não mais de 10%, de preferência mais próximo de 5% (Rickert 2007). Como as passarelas precisam ter altura suficiente para permitir a passagem de veículos grandes, as rampas podem ficar muito longas. Também podem ser colocados elevadores para dar acesso a pessoas com necessidades especiais.

SEGURANÇA

A maioria das passarelas para pedestres não melhora muito a segurança dos pedestres. Nossa análise estatística na Cidade do México não encontrou correlação entre passarelas para pedestres e atropelamentos. As observações de inspeções de segurança viária sugerem que os pedestres raramente as usam, preferindo fazer travessias imprudentes.

Como regra geral, recomenda-se usar travessias de pedestres em nível com semáforo nos corredores BRT e evitar passarelas. As passarelas devem ser usadas apenas em vias de alta velocidade, como vias expressas, em casos em que não for possível colocar uma travessia com semáforo. A via deve ter pelo menos três faixas de tráfego misto por direção, além das faixas BRT. Se a via for mais estreita, aumenta a probabilidade dos pedestres escalarem os gradis e atravessarem as faixas sob a passarela para pedestres.

As passarelas para pedestres devem ser sempre acompanhadas de gradis para evitar que os pedestres façam travessias imprudentes. Os gradis devem ser altos o suficiente para evitar que as pessoas pulem por cima. Também deve ser inspecionados frequentemente e substituídos quando estiverem danificados ou destruídos.



Pedestre fazendo uma travessia imprudente sob uma passarela para pedestres em Arequipa, Peru. Foto de Carsten Wass.



Pedestres pulando sobre um gradil e atravessando ilegalmente uma faixa de ônibus em Delhi, ao lado de uma passarela para pedestres. Foto EMBARQ.

OPERAÇÕES

As passarelas para pedestres separam completamente os tráfegos de pedestres e de ônibus. Conseqüentemente, a capacidade de uma faixa de ônibus não é afetada pela travessia de pedestres, nem a velocidade de operação.

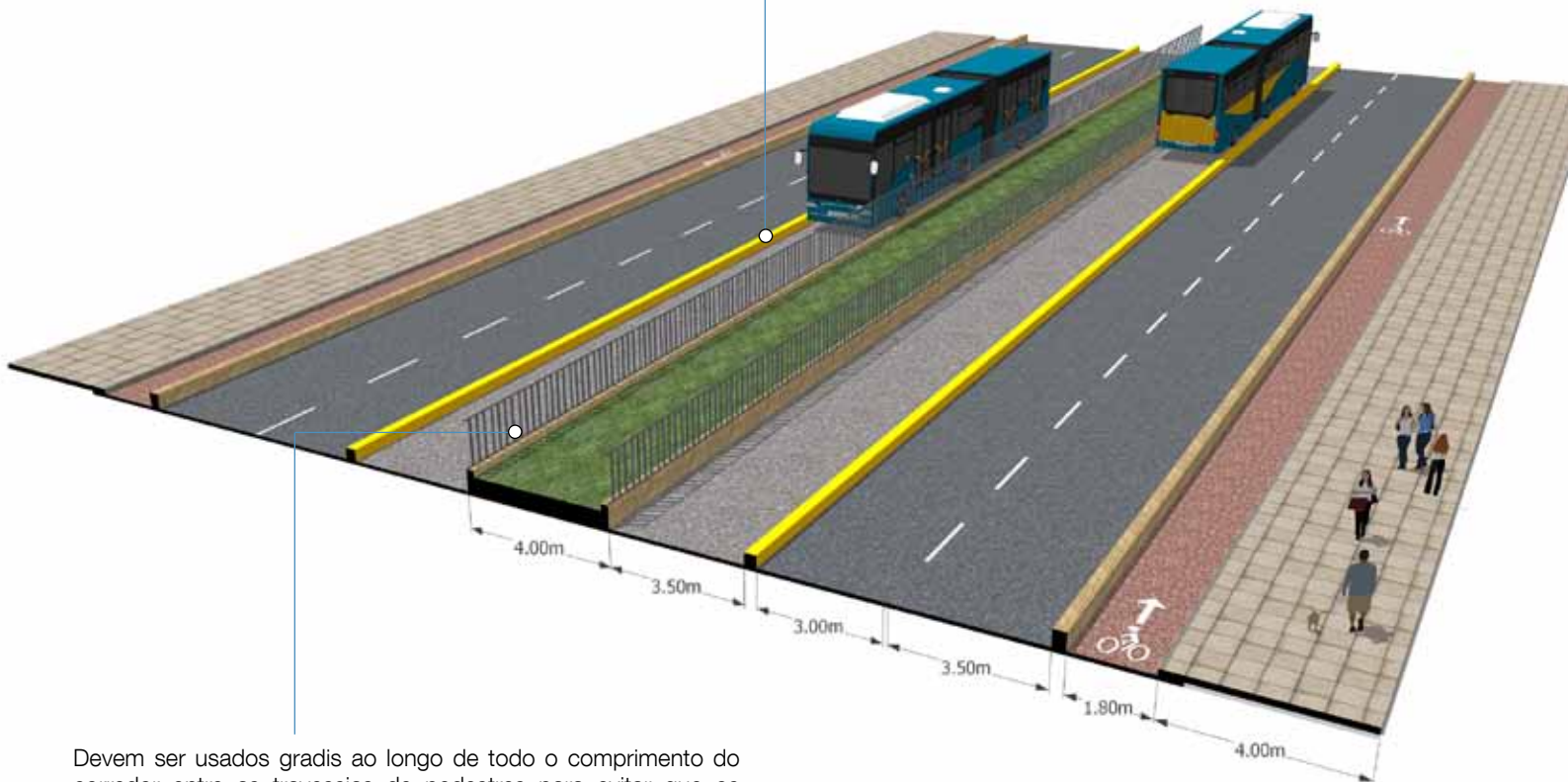
No entanto, se a passarela para pedestres for usada em um contexto inadequado (p. ex., uma via arterial urbana estreita), é provável que os pedestres atravessem as faixas de ônibus a pé ou esperem nas faixas de ônibus por uma brecha no tráfego, causando problemas de segurança tanto para os pedestres quanto para os passageiros dos ônibus.

SEGMENTOS DA VIA - BRT / CORREDOR DE ÔNIBUS EM FAIXAS CENTRAIS GRADIS



Diagrama de acidente: um tipo comum de acidente nos corredores de ônibus com faixas exclusivas de ônibus – carros entram nas faixas de ônibus e colidem com os ônibus.

A segregação física entre as faixas de ônibus e as de tráfego misto é fundamental para eliminar o risco de veículos entrarem nas faixas de ônibus e colidirem com os mesmos. A sinalização horizontal das faixas e a sinalização horizontal elevada não são medidas eficazes para eliminar estes conflitos. Recomenda-se o uso de um meio-fio ou de um canteiro central.



Devem ser usados gradis ao longo de todo o comprimento do corredor entre as travessias de pedestres para evitar que os pedestres façam travessias imprudentes. Recomenda-se o uso de gradis resistentes e que sejam inspecionados com frequência, porque podem ser danificados e destruídos.

Os gradis também devem ser altos o suficiente para desencorajar os pedestres a escalá-los. Um canteiro central com vegetação entre os gradis também pode ajudar a impedir que as pessoas tentem atravessar.



Gradil ao longo de uma faixa de ônibus em Belo Horizonte, Brasil, retirado para permitir a travessia em meio de quadra. Foto de Carsten Wass.



Pedestres escalando gradis em um corredor de ônibus em Delhi. Foto EMBARQ Índia.

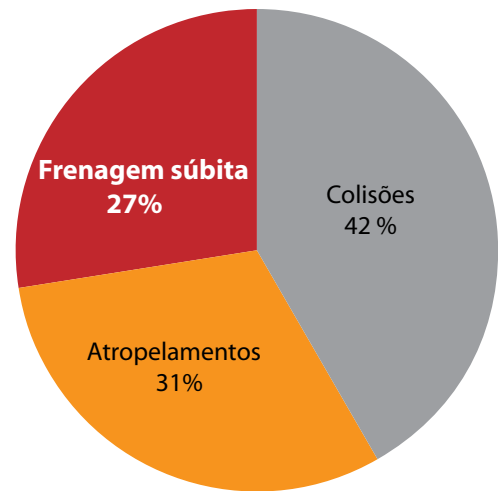
SEGURANÇA

Nas seções do corredor entre travessias de pedestres – e especialmente onde a velocidade dos ônibus é alta – é importante evitar a travessia imprudente e manter os pedestres fora das faixas de ônibus. Isto é essencial para a segurança dos pedestres e também pode ajudar a reduzir o número de feridos nos ônibus. Uma causa comum de ferimentos em passageiros de BRT é quando os motoristas freiam bruscamente para evitar atingir pedestres nas faixas de ônibus.

Os ônibus têm uma taxa máxima de frenagem relativamente alta. Embora isto possa ajudar um motorista de ônibus a frear a tempo de evitar atingir um pedestre, pode representar um risco à segurança dos passageiros dentro do ônibus.

Dados de acidentes do TransMilenio em Bogotá mostram que a terceira principal causa de acidentes com feridos envolvendo os ônibus do TransMilenio é a frenagem súbita. A partir das descrições de acidentes e das discussões com a equipe de segurança do TransMilenio, fomos informados de que os motoristas foram treinados a reagir a pedestres nas faixas de ônibus freando subitamente para evitar atropelá-los. Como resultado da implantação desta medida, a equipe do TransMilenio relatou que os atropelamentos diminuíram, mas que o número de passageiros feridos aumentou, porque as pessoas caem dentro do ônibus e se ferem quando os veículos freiam bruscamente. A frenagem súbita para evitar atropelamentos também causa várias colisões traseiras dos ônibus BRT que estão em fila.

ACIDENTES COM FERIDOS ENVOLVENDO VEÍCULOS DO TRANSMILENIO EM BOGOTÁ, POR TIPO



Calculado a partir de dados fornecidos pela TransMilenio S.A.. Inclui acidentes envolvendo veículos BRT relatados pela equipe da TransMilenio entre 2005 e 2011.

OPERAÇÕES

Do ponto de vista da segurança de pedestres, a localização exata dos gradis não é importante, desde que forneçam uma barreira eficiente contra a travessia imprudente. Os gradis podem ser colocados no canteiro central, ao longo da calçada ou entre as faixas de tráfego misto e as faixas de ônibus.

Para operações de ônibus, pode ser mais vantajoso colocar os gradis entre as faixas de ônibus e as faixas de tráfego misto. Isto ajudar a evitar a travessia imprudente nas faixas de ônibus e também criar uma boa separação do tráfego misto.



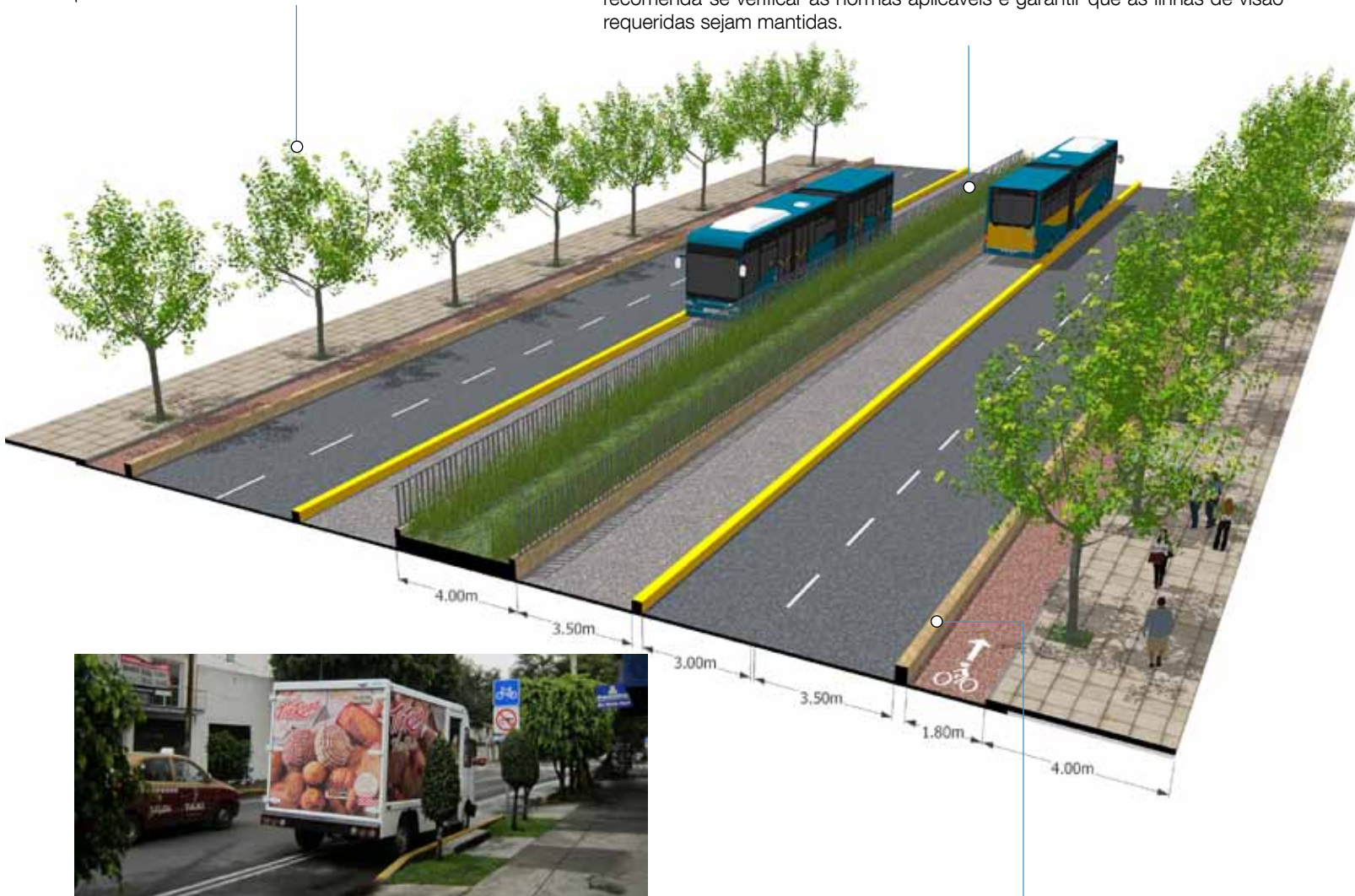
Gradis entre a faixa de ônibus e as faixas de tráfego misto no corredor BRT Janmarg em Ahmedabad. Foto EMBARQ.

SEGMENTOS DA VIA - BRT / CORREDOR DE ÔNIBUS EM FAIXAS CENTRAIS

INFRAESTRUTURA PARA BICICLETAS E VEGETAÇÃO

Recomenda-se usar árvores de rua ao longo das calçadas e ciclovias, desde que não obstruam a linha de visão na aproximação de interseções e travessias em meio de quadra. Em climas quentes, recomenda-se espaçar as árvores de forma a criar uma copa contínua, fornecendo sombra para pedestres e ciclistas.

Não se recomenda plantar árvores grandes no canteiro central, porque os galhos podem crescer para dentro das faixas de ônibus, podendo causar manobras evasivas perigosas pelos motoristas. Isto pode ser evitado fazendo a manutenção e a poda corretas, mas na maioria dos casos, isto não é de responsabilidade do departamento de transporte, mas de outros órgãos do governo municipal. Árvores grandes também devem ser evitadas próximas a interseções e travessias em meio de quadra. Ao escolher quais árvores usar, recomenda-se verificar as normas aplicáveis e garantir que as linhas de visão requeridas sejam mantidas.



Caminhão de entrega estacionado em uma ciclovia na Cidade do México. Foto EMBARQ.



Ciclovia no BRT Janmarg em Ahmedabad, usada como estacionamento de motocicletas. Foto EMBARQ.

A segregação física das ciclovias é essencial para garantir que os veículos não as invadam. A elevação do meio-fio é um dispositivo simples para criar a segregação. Também é de fácil manutenção e ocupa pouco espaço (20 - 30 cm).

Também é importante garantir que as ciclovias não sejam invadidas por camelôs ou sejam usadas como estacionamento de motocicletas, como no caso de algumas seções do BRT Janmarg em Ahmedabad. Em parte, isto pode ser solucionado fornecendo espaço suficiente para todas as atividades ao longo da via, inclusive infraestrutura para estacionamento de veículos de duas rodas. Medidas educativas e de fiscalização também são necessárias.

SEGURANÇA

Quando não há infraestrutura para bicicletas na via, os ciclistas frequentemente decidem andar nas faixas exclusivas de ônibus, porque percebem estas faixas como mais seguras do que as faixas de tráfego misto. No entanto, as faixas de ônibus não são projetadas para acomodar ônibus e bicicletas e o compartilhamento de faixas usualmente resulta em acidentes sérios e até mesmo fatais.

É possível que bicicletas e ônibus compartilhem a mesma faixa, mas isto geralmente demanda a redução da velocidade dos ônibus e maior largura da faixa para permitir que os ônibus ultrapassem os ciclistas. Normalmente, isto não é prático em corredores BRT ou de ônibus com larguras de faixa de 3 a 3,5 metros e grandes ônibus articulados ou biarticulados que trafegam em alta velocidade.

Sempre que houver a expectativa que um volume significativo de ciclistas use o corredor, recomenda-se usar uma infraestrutura exclusiva para os ciclistas. O ideal, em uma rede de ruas movimentada, com quadras curtas, é que a infraestrutura para bicicletas seja colocada em uma via paralela ao corredor BRT para evitar conflitos entre as bicicletas e outros modais que usam o corredor de ônibus. Se isto não for viável, então a infraestrutura para bicicletas deve ser colocada no corredor de ônibus.

Recomenda-se usar ciclovias, que são fisicamente separadas do tráfego motorizado e são diferentes da calçada (NACTO, 2011) em comparação com as faixas para bicicletas, que não fornecem separação física.

A separação física é importante em cidades dos países em desenvolvimento, porque os motoristas podem não respeitar a sinalização horizontal e vertical que indica as faixas de bicicletas e geralmente as usam para estacionamento. Em zonas comerciais, os projetistas do corredor precisam levar em conta as entregas para as lojas locais e se estas podem ser feitas em uma via adjacente.



Ciclista usando as faixas exclusivas de ônibus na Linha 3 do Metrobús (Puente de Alvarado), na Cidade do México. Foto de Carsten Wass.



Ciclista usando as faixas exclusivas de ônibus do sistema BRT em Curitiba. A circulação de bicicletas não é permitida nas faixas de ônibus. Foto cortesia da EMBARQ Brasil.

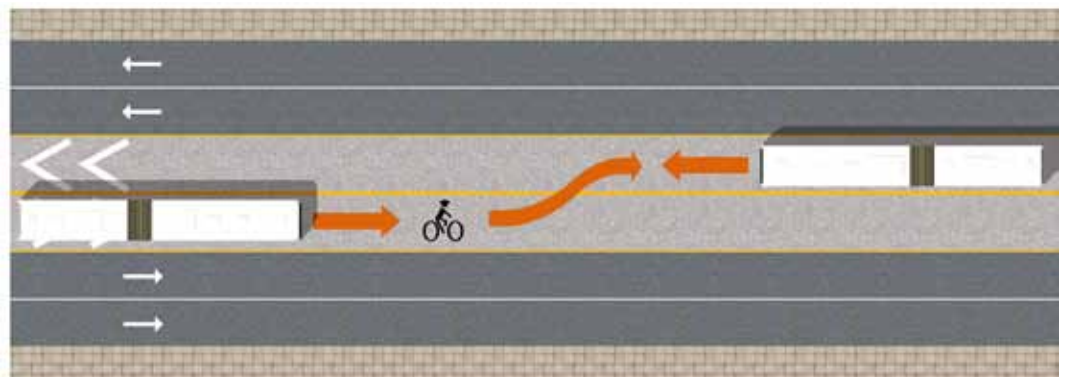


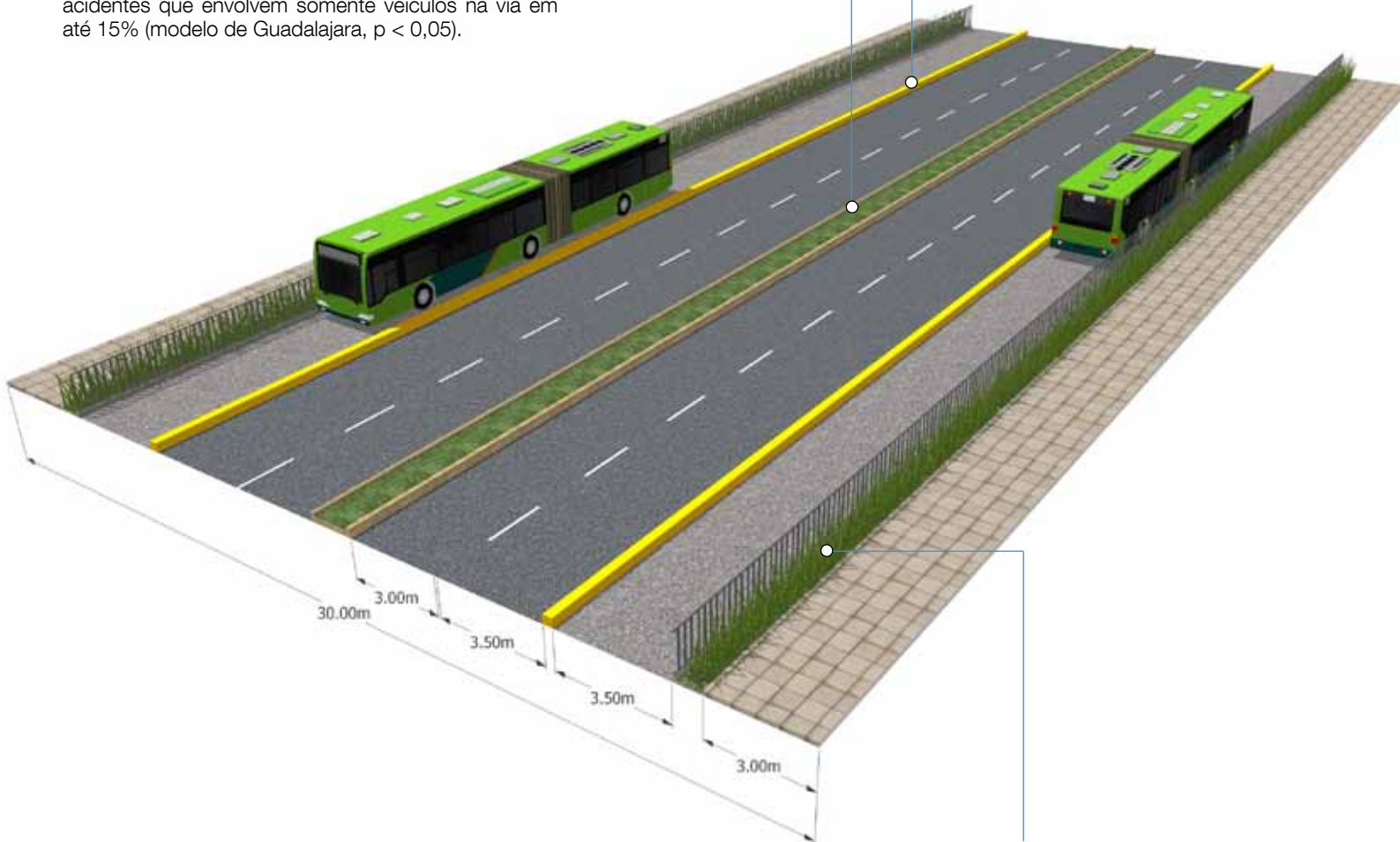
Diagrama de acidente: colisão entre um ciclista e um veículo BRT, segundo descrição da equipe da Metrobús, Cidade do México. Uma situação comum de acidente envolve ciclistas tentando sair do caminho de um ônibus que se aproxima por trás e colidindo de frente com um ônibus na outra direção ou perdendo o controle e caindo. Todas estas situações geralmente causam ferimentos graves.

SEGMENTOS DA VIA - FAIXAS BRT /ÔNIBUS JUNTO AO MEIO-FIO

PROJETO VIÁRIO PARA FAIXAS JUNTO AO MEIO-FIO

As faixas de ônibus junto ao meio-fio geralmente são usadas em vias mais estreitas, onde não há espaço suficiente para acrescentar infraestrutura para ônibus no centro sem reduzir substancialmente o espaço viário disponível para tráfego misto. Isto é levado em conta em nosso projeto. Independentemente da largura da via, recomenda-se colocar um canteiro central entre os dois sentidos do tráfego porque pode reduzir os acidentes que envolvem somente veículos na via em até 15% (modelo de Guadalajara, $p < 0,05$).

A segregação física entre as faixas de ônibus e as de tráfego misto é fundamental para eliminar o risco de veículos entrarem nas faixas de ônibus e colidirem com os mesmos. Para faixas de ônibus junto ao meio-fio isso só seria possível em seções com quadras longas.



Pedestres caminhando na faixa de ônibus junto ao meio-fio no Eje 1 Oriente, Cidade do México. Observe a calçada estreita e o gradil danificado. Foto de Carsten Wass.

As faixas de ônibus junto ao meio-fio não podem ser operadas com segurança sem algum tipo de barreira física entre as faixas de ônibus e a calçada. Assim como os gradis para pedestres, estas barreiras podem ser danificadas ou destruídas e, portanto, exigem inspeção frequente. Podem também ser integradas ao projeto da via usando vegetação ou mobiliário urbano ao seu redor.



Um conjunto de Mariachis sobre a faixa de ônibus junto ao meio-fio do Eje Central (Lazaro Cardenas) na Cidade do México, tentando atrair clientes. Um carro vai acabar parando ilegalmente na faixa de ônibus para apanhá-los. Foto EMBARQ.

SEGURANÇA

As faixas de ônibus junto ao meio-fio tendem a apresentar mais problemas de segurança do que corredores de ônibus em faixas centrais. O principal problema de segurança é o atropelamento de pedestres por ônibus. Como as faixas de ônibus ficam diretamente adjacentes ao meio-fio, o tráfego de pedestres frequentemente se estende para as faixas de ônibus.

Em áreas com alto volume de pedestres, é comum ver pessoas caminhando, esperando ou transportando mercadorias nas faixas de ônibus. Em alguns casos, a causa pode ser o excesso de pessoas na calçada, mas nem sempre. Durante a inspeção local, as calçadas do Eje Central na Cidade do México não estavam lotadas, mas observamos muita gente usando as faixas de ônibus.

Até certo ponto, é um problema de acessibilidade. As pessoas que precisam empurrar carrinhos, por exemplo, geralmente preferem usar as faixas de ônibus a subir nas rampas para a calçada. Isto provavelmente se deve à percepção de que as faixas de ônibus são relativamente seguras, já que ali trafegam menos veículos do que nas faixas de tráfego geral. Para resolver o problema, recomenda-se colocar gradis ao longo da calçada para manter os pedestres fora das faixas de ônibus, e também garantir que as calçadas ao longo do corredor estejam em boas condições, sem mudanças de nível, rampas muito inclinadas e sem objetos que bloqueiem o acesso às rampas.

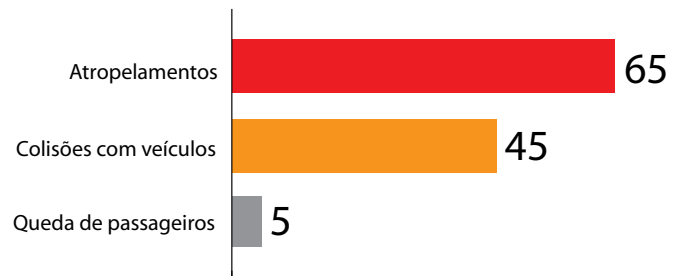
OPERAÇÕES

Na prática, as faixas de ônibus junto ao meio-fio raramente atingem capacidade maior do que 5.000 pass/h/sentido (Wright e Hook, 2007).

Em primeiro lugar, isto se deve ao fato que as faixas junto ao meio-fio raramente conseguem operar como faixas de ônibus exclusivas. O conflito mais frequente é com veículos que fazem conversão à direita, que frequentemente entram na faixa de ônibus antes de fazer a conversão à direita. Estes veículos não só reduzem a capacidade da faixa de ônibus, como a velocidade do tráfego dos ônibus. Além disso, há diversos conflitos com pedestres e ciclistas que compartilham as faixas e que também podem contribuir para reduzir a velocidade do tráfego nas faixas de ônibus.

Outro conflito a considerar é com micro-ônibus, e isto é particularmente relevante nas cidades latino-americanas. Os micro-ônibus operam em rotas pré-determinadas, mas geralmente não têm pontos fixos e podem embarcar e desembarcar passageiros em diferentes locais em uma via. Em um corredor de ônibus junto ao meio-fio, os micro-ônibus que embarcam e desembarcam passageiros param na faixa de ônibus, como no caso do Eje Central na Cidade do México.

ACIDENTES ENVOLVENDO ÔNIBUS, POR TIPO, NO CORREDOR DE ÔNIBUS JUNTO AO MEIO-FIO DO EJE CENTRAL, CIDADE DO MÉXICO (2006 - 2010)



Calculado a partir de dados fornecidos pelo Governo da Cidade do México, 2011.



Pessoa empurrando um carrinho de mercadorias na faixa de ônibus junto ao meio-fio no Eje Central, na Cidade do México. Foto EMBARQ.

Usar uma barreira física entre a faixa de ônibus junto ao meio-fio e as faixas de tráfego misto pode resolver o problema em algumas seções do corredor (especialmente naquelas com quadras longas). Porém, o tráfego que faz a conversão à direita vai frequentemente precisar entrar na faixa de ônibus na aproximação das interseções, onde não pode haver barreiras.

INTERSEÇÕES

PRINCIPAIS PROBLEMAS DE SEGURANÇA

A chave para melhorar a segurança nas interseções é projetar interseções simples e justas. O tamanho e a complexidade das interseções estão sempre correlacionados com uma maior frequência de acidentes em todos os corredores de ônibus incluídos na base de dados.

TAMANHO DA INTERSEÇÃO

A área de uma interseção é influenciada pelo comprimento do raio da conversão à direita e largura de cada acesso. Os resultados do modelo de frequência de acidentes sugere que cada faixa adicional que entra em uma interseção pode aumentar em 10% os acidentes (todos os modelos, $p < 0,001$).

Para manter as interseções o mais estreitas possível, recomenda-se reduzir o raio de conversão à direita, fornecendo apenas a largura mínima necessária para fazer a conversão à direita. Também recomenda-se usar extensões de meio-fio sobre as faixas de estacionamento e manter o número geral de faixas no corredor de ônibus baixo.

CONVERSÃO À ESQUERDA

Verifica-se que cada movimento de conversão à esquerda permitido em uma interseção pode aumentar os acidentes em 30% (modelo da Cidade do México, $p < 0,001$).

Embora a conversão à esquerda geralmente seja considerada um risco de segurança viária em qualquer tipo de configuração de via, é particularmente perigosa em corredores de ônibus em faixas centrais.

O tipo mais comum de acidente envolvendo ônibus em corredores em faixas centrais ocorre quando os carros fazem ilegalmente conversão à esquerda a partir do corredor, atravessando as faixas de ônibus e colidindo com um ônibus que transita pela faixa dedicada.

Na maioria dos corredores de ônibus em faixas centrais, a conversão à esquerda é proibida e substituída por alças nas interseções. Isto demanda um desenho cuidadoso da alça para evitar que o risco seja simplesmente transferido para uma via próxima. Também se recomenda a sinalização vertical indicando tanto a proibição de conversão à esquerda, como a alça.

Alternativamente, a conversão à esquerda pode ser permitida em alguns locais, com uma fase do semáforo específica para a conversão à esquerda.

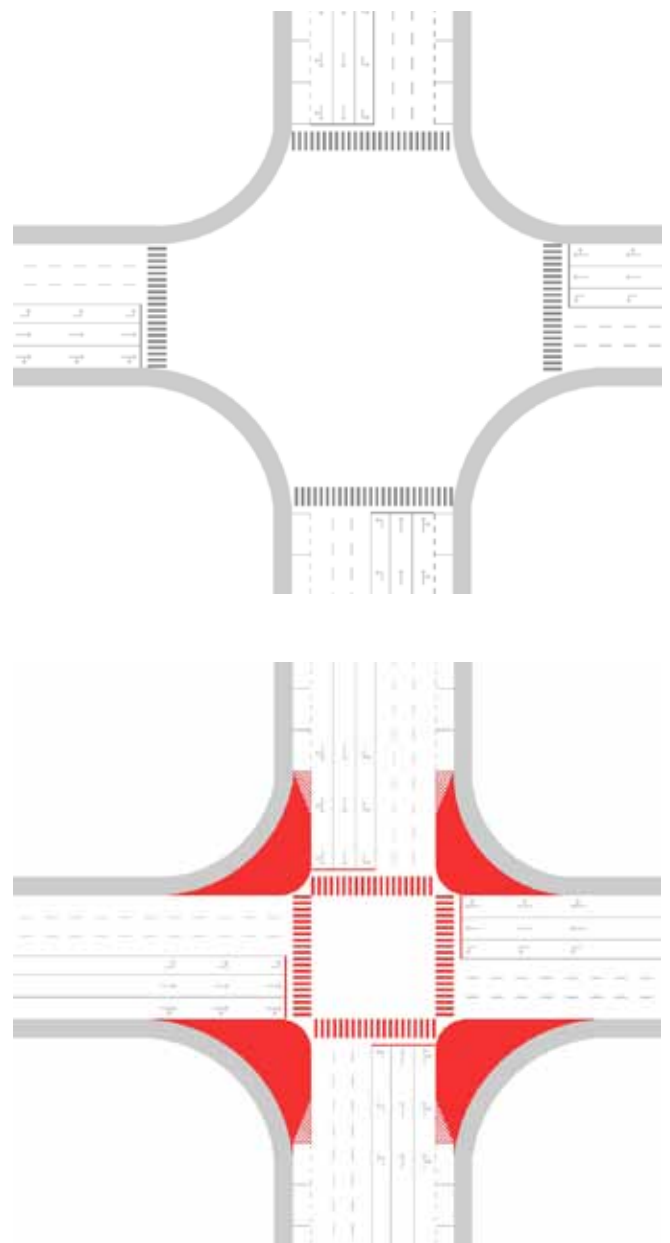


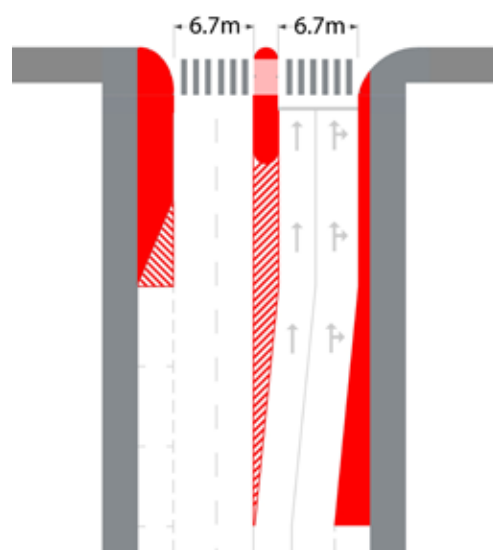
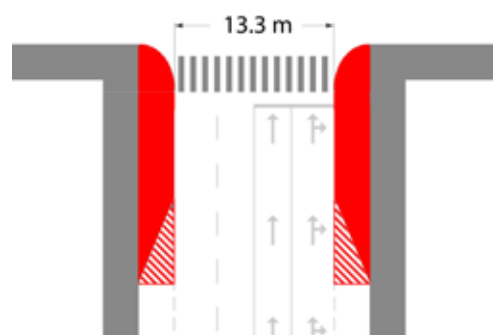
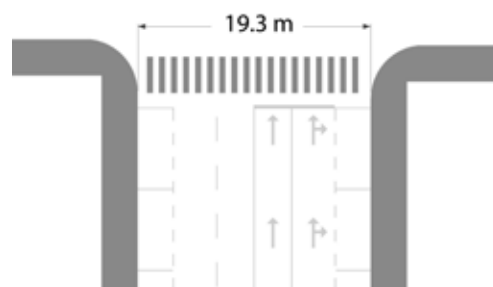
Diagrama que ilustra como raios de conversão mais estreitos e extensões do meio-fio (em vermelho) podem ser usados para reduzir a área de uma interseção.

TRAVESSIAS DE PEDESTRES

Os resultados dos modelos indicam que cada metro adicional de travessia de pedestres está correlacionado com um aumento de 3% a 5% no número de atropelamentos. São apresentados aqui dois conceitos de projeto para reduzir o comprimento da travessia de pedestres em uma interseção, sem retirar as faixas de tráfego. Inicia-se com um exemplo de uma via de quatro faixas com uma faixa de estacionamento em cada sentido. A distância de travessia neste exemplo é de 19,3 metros.

Usando extensões de meio-fio, pode-se estender a calçada sobre as duas faixas de estacionamento no acesso à interseção. Isto ajuda a reduzir o comprimento da travessia em 6 metros, chegando a 13,3 m, e também melhora a visibilidade para motoristas e pedestres. Se houver uma fila de carros estacionados até a travessia, os pedestres podem aparecer inesperadamente detrás dos carros estacionados. Este é um fator comum que contribui para atropelamentos. Ao retirar vagas de estacionamento antes da interseção (também chamado de “daylighting” ou iluminação), os motoristas e pedestres podem ver uns aos outros mais facilmente, ajudando a evitar acidentes.

Outra solução é retirar a faixa de estacionamento no acesso à interseção, passando duas das faixas para mais perto da calçada, e usar o espaço resultante para criar uma ilha de refúgio para pedestres no centro da travessia. Isto deve melhorar ainda mais a segurança dos pedestres, pois estes vão precisar atravessar duas faixas (ou 6,7 metros) de cada vez. Dependendo do desenho, a troca de faixa no acesso à interseção também pode ser usada como medida de redução da velocidade, aumentando ainda mais a segurança para os pedestres.



ESPAÇO PROTEGIDO PARA PEDESTRES

Em 2011, ocorreu um acidente fatal no BRT Metrobús na Cidade do México, quando um ônibus aparentemente não fez uma curva, subiu em uma área de espera de pedestres e atropelou um grupo de pessoas, matando três delas e ferindo várias outras.

Sempre que houver uma área de espera de pedestres – como uma ilha de refúgio – situada no meio de uma via, é importante fornecer alguma proteção para os pedestres. Isto pode ser feito colocando pilaretes ou meio-fio elevado. Isto ajuda a garantir que, se um motorista perder o controle do veículo ou não fizer uma curva, o veículo vai atingir um pilarete ou o meio-fio, em vez de atropelar pedestres.

SINALIZAÇÃO HORIZONTAL DAS INTERSEÇÕES

Para interseções maiores, recomenda-se usar sinalização horizontal especial no pavimento para ajudar a dirigir os movimentos – especialmente as conversões – na área da interseção. Há dois tipos principais de sinalização horizontal nas interseções: extensões da sinalização horizontal da faixa (geralmente na forma de linhas tracejadas onde uma faixa atravessa uma interseção e na forma de cruz quando duas faixas se cruzam) e as ilhas pintadas no pavimento (áreas onde não ocorrem movimentos através da interseção e que podem ser marcadas com linhas em diagonal).

A forma e a dimensão da sinalização horizontal variam em cada país. Recomenda-se verificar as normas aplicáveis para encontrar o tipo correto de sinalização horizontal para cada local. Neste manual, é ilustrado o tipo de sinalização horizontal de interseções comumente usado na Dinamarca.

ALINHAMENTO DAS FAIXAS

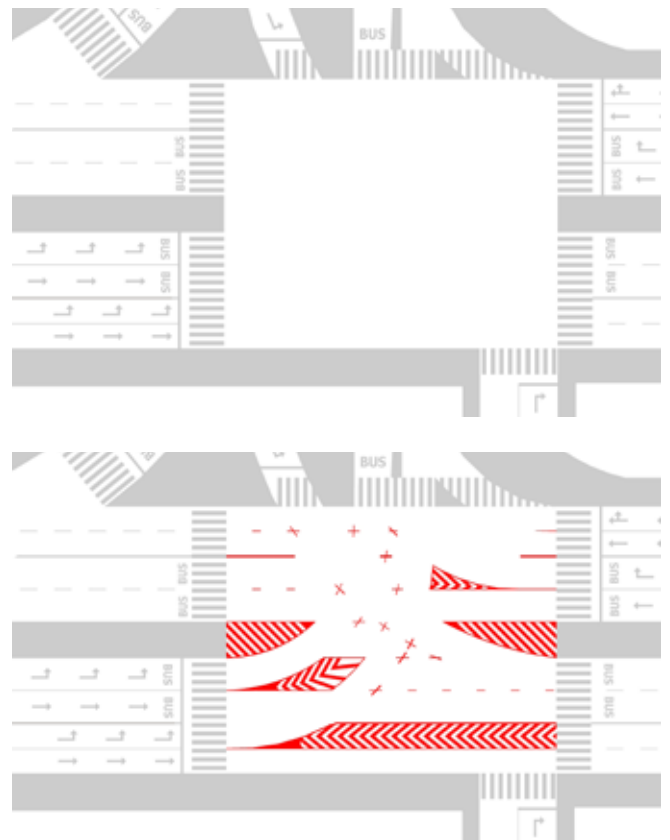
As faixas que continuam depois de uma interseção devem sempre estar bem alinhadas em ambos os lados da interseção. Pequenas alterações no alinhamento da faixa podem confundir os motoristas, que podem acabar entrando na faixa errada ao sair da interseção ou fazer movimentos bruscos para permanecer na faixa correta – e ambos podem causar acidentes.

Um desalinhamento menor pode ser resolvido usando a sinalização horizontal da interseção para ajudar os motoristas a permanecerem na faixa. Desalinhamentos importantes – como o que dirigiria os carros para as faixas opostas – não devem ser permitidos. Deve ser considerado o fechamento de transversais secundárias com faixas desalinhadas e permitir apenas a conversão à direita.

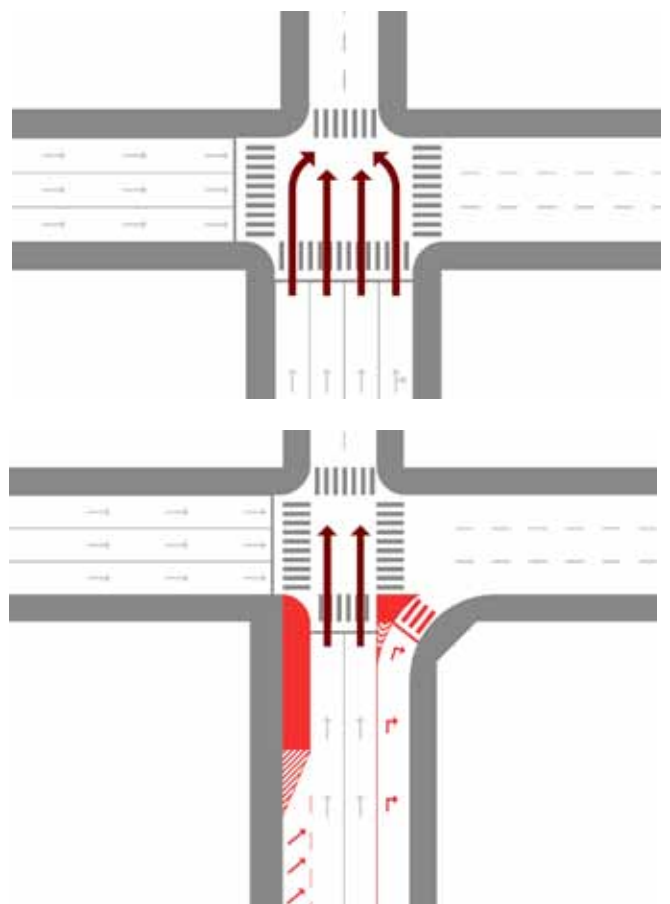
EQUILÍBRIO DAS FAIXAS

Quando o número de faixas que entram em uma interseção junto com um determinado acesso ou movimento de conversão é maior do que o número de faixas que saem da interseção junto com o mesmo movimento (isto é, continuar em frente, virar à esquerda, etc.), isto é chamado de desequilíbrio de faixas. É problemático porque os veículos vão convergir em menos faixas e alguns motoristas podem reagir mudando de faixa subitamente, o que pode causar acidentes.

Em alguns casos, isto pode ser resolvido determinando que algumas faixas sejam usadas apenas para conversão. Por exemplo, se uma via tem quatro faixas que entram em uma interseção, mas apenas três depois da interseção, uma das faixas no acesso pode ser designada apenas para conversão à esquerda ou à direita. Isto deixaria efetivamente apenas três faixas de passagem, restaurando o equilíbrio de faixas.



Exemplo de uma interseção com e sem sinalização horizontal.



Exemplo de uma interseção com desequilíbrio de faixas.

ALÇAS

É comum proibir a conversão à esquerda em corredores de ônibus em faixas centrais. Isto ajuda a melhorar a segurança, ao eliminar um dos conflitos mais importantes entre os ônibus e o tráfego geral. Também ajuda a aumentar a capacidade do corredor de ônibus porque elimina uma fase semafórica e permite maior relação tempo de verde por ciclo semafórico (v/C) para os ônibus.

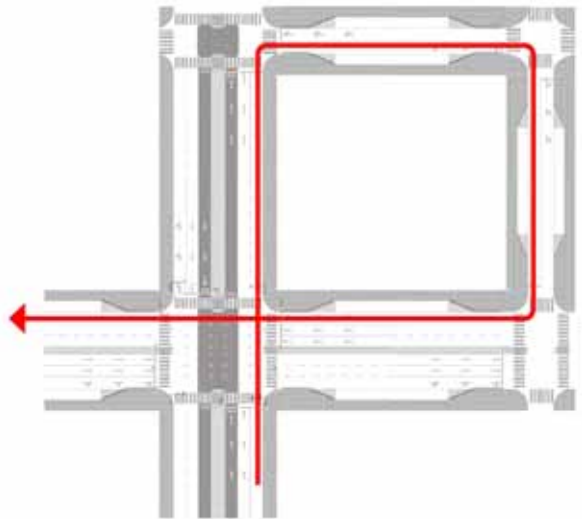
OPÇÃO 1: DEPOIS DA INTERSEÇÃO

Esta é a melhor solução em termos de segurança, porque substitui a conversão à esquerda por três conversões à direita, que geralmente são muito menos problemáticas. No entanto, só pode ser usada quando houver as seguintes condições:

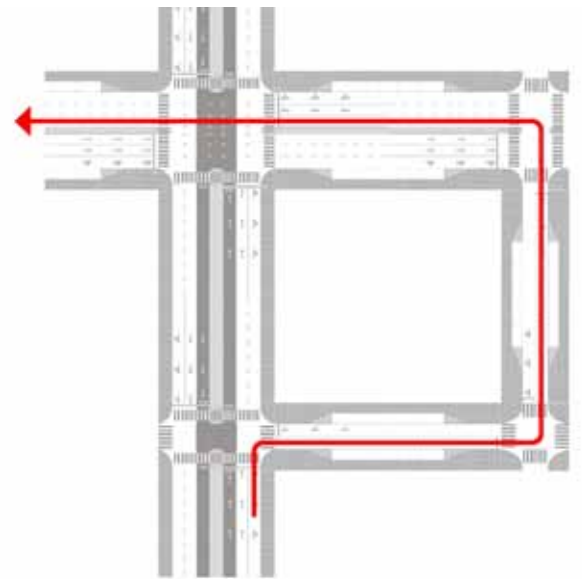
- As vias ao longo da alça têm capacidade de acomodar o volume adicional de tráfego sem criar problemas de segurança ou congestionamento.
- A alça não for excessivamente longa. Se as quadras adjacentes à interseção forem maiores do que 150 - 200 metros, o desvio causado pela alça pode ser longo demais e os motoristas podem não usá-la.

OPÇÃO 2: ANTES DA INTERSEÇÃO

Esta opção deve ser usada apenas quando a anterior não for viável. Este tipo de alça substitui uma conversão à esquerda por uma conversão à direita e duas conversões à esquerda em uma via paralela e é possível que simplesmente transfira o risco do corredor de ônibus para outra via. As mesmas condições da primeira opção se aplicam aqui: as vias devem ter capacidade para acomodar o tráfego adicional e a alça não deve ser excessivamente longa.



Opção 1 de alça: começar depois da interseção com proibição de conversão à esquerda.



Opção 2 de alça: começar antes da interseção com proibição de conversão à esquerda.

SINALIZAÇÃO DAS ALÇAS

Independente se a alça começa antes ou depois da interseção, a sinalização vertical anunciando a alça deve ser colocada no acesso à interseção. O projeto e layout exatos da sinalização devem seguir as especificações das normas municipais ou federais de projeto. Também recomenda-se aplicar os seguintes princípios para a colocação e desenho da sinalização vertical das alças:

COLOCAÇÃO

- A sinalização vertical que anuncia a alça deve sempre ser colocada antes da interseção onde a conversão à esquerda é proibida, independente se a alça começa antes ou depois da interseção.
- Em vias largas (mais de três faixas de tráfego misto por direção), deve-se considerar colocar as placas de sinalização acima das faixas e não na calçada ou colocá-las na calçada e no canteiro central para garantir boa visibilidade.

DESENHO

- A placa deve ser o mais simples possível, com o mínimo de informações necessárias para entender a configuração da alça.
- Deve ser grande o suficiente para ser vista e lida facilmente pelos motoristas que passam no limite máximo de velocidade
- Não devem ser mostrados os nomes das ruas na placa. Deve ser apresentado apenas o nome da transversal onde a conversão é proibida para indicar para qual rua foi prevista a alça.



Desenhos recomendados para as duas opções de alça. Observe que é incluído um mínimo de informações para manter a sinalização simples e que o único nome de rua é o da transversal onde a conversão à esquerda é proibida.

Nas páginas a seguir, são apresentados vários conceitos de projetos de interseções, integrando todos os principais problemas de segurança discutidos na seção anterior.

Os tipos de interseção escolhidos, a largura das vias e os tipos de sistemas de ônibus descritos se baseiam em configurações comuns de vias e interseções encontradas nos corredores de ônibus incluídos em nossa base de dados.

Primeiramente são apresentadas interseções ao longo de sistemas BRT em faixas centrais, desde grandes interseções com outras vias arteriais urbanas até interseções secundárias e interseções em T.

Vários dos princípios de projeto e características de segurança apresentados para corredores BRT em faixas centrais também podem ser aplicados a todos os outros tipos de sistemas de ônibus, como minimizar a área das interseções, manter as travessias de pedestres curtas e dividi-las com ilhas de refúgio para pedestres quando possível, usar sinalização horizontal e iluminação nas interseções, e instalar gradis.

Também há algumas questões importantes específicas de corredores de ônibus junto ao meio-fio, especialmente como gerenciar a conversão à direita. Por isso, são apresentados dois conceitos de projeto para faixas de ônibus junto ao meio-fio que mostram formas diferentes de lidar com a conversão à direita através das faixas de ônibus.

LISTA DE FIGURAS

BRT / CORREDORES DE ÔNIBUS EM FAIXAS CENTRAIS

| | |
|--|----|
| Interseção entre vias principais sem conversão à esquerda..... | 36 |
| Interseção entre vias principais com conversão à esquerda..... | 38 |
| Interseção de vias principais com presença de ciclovias..... | 40 |
| Interseção entre via principal e via secundária | 42 |
| Interseção entre via principal e via secundária bloqueada/interseção em T..... | 43 |
| Interseção entre via principal e via secundária - ciclovias..... | 44 |

CORREDORES DE ÔNIBUS JUNTO AO MEIO-FIO/ FAIXAS PRIORITÁRIAS DE ÔNIBUS

| | |
|--|----|
| Interseção entre vias principais - quadras longas..... | 46 |
| Interseção entre vias principais - quadras curtas..... | 48 |

INTERSEÇÃO ENTRE VIAS PRINCIPAIS SEM CONVERSÃO À ESQUERDA

Prolongar a calçada sobre a faixa de estacionamento próxima à interseção pode ajudar a estreitar a área da interseção e encurtar as travessias de pedestres. Isto é relativamente fácil de implantar, não afeta a capacidade da interseção e pode ser eficaz para melhorar a segurança dos pedestres. Isto também pode ajudar a eliminar conflitos entre veículos que estão manobrando para entrar ou sair da faixa de estacionamento na via transversal e os veículos que fazem a conversão à direita a partir do corredor BRT.

Usar semáforos para pedestres, além dos semáforos de trânsito em todos os lados da interseção e semáforos secundários do lado oposto da interseção, para cada acesso.



Verificar se a área central da interseção recebe luz suficiente para que veículos e a travessia de pedestres tenham visibilidade suficiente à noite.



Placas de sinalização indicando proibição de conversão à esquerda e a alça correspondente. Devem ser verificadas as normas municipais ou federais aplicáveis para determinar a sinalização correta. As placas de sinalização de alça devem ser o mais simples possível, devendo ser facilmente entendidas pelo motorista que passa pela interseção.

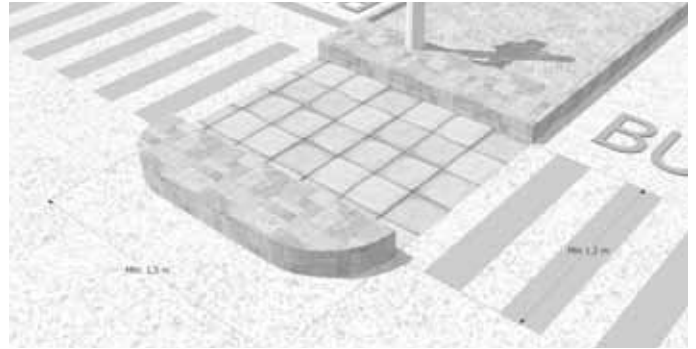
Manter o raio de conversão à direita o menor possível para que a área da interseção se mantenha estreita, mas que ainda assim permita raio de conversão suficiente para veículos maiores.

SEGURANÇA

As interseções com outras vias arteriais urbanas principais estão entre os locais com maior número de acidentes nos corredores BRT. São locais-chave para fazer melhorias em segurança.

O projeto na página ao lado integra vários dos elementos de segurança discutidos na seção anterior: interseção estreita e simples, restrições para a conversão à esquerda, travessias de pedestre curtas com ilhas de refúgio protegidas no centro, gradis e placas de sinalização indicando claramente as alças que substituem a conversão à esquerda proibida. As anotações fornecem mais detalhes de outras características de segurança a considerar.

Este conceito de projeto não inclui infraestrutura para bicicletas no corredor. Neste contexto, os ciclistas devem ser acomodados em uma via paralela para evitar o risco que os ciclistas usem as faixas de ônibus. Se se espera que um alto volume de ciclistas use os corredores, recomenda-se usar pistas para ciclistas, como ilustrado nas páginas 40 - 41.



Detalhe da ilha de refúgio para pedestres. A ilha deve estar nivelada com o pavimento e protegida do tráfego por um meio-fio elevado. Deve ter espaço suficiente para o volume esperado de pedestres e deve pelo menos acomodar uma pessoa com um carrinho de bebê.

OPERAÇÕES

Este conceito de projeto ilustra o fato que, na maioria dos casos, as características que melhoram a segurança em um corredor de ônibus são compatíveis com alta capacidade de passageiros.

Neste caso, é proibida a conversão à esquerda a partir do corredor BRT e da transversal e a mesma é substituída por alças. Pode-se esperar que o número de acidentes nesta interseção seja menor do que em uma configuração que permita conversão à esquerda. Além disso, eliminar a conversão à esquerda reduz o número necessário de fases semaforicas na interseção, maximizando o tempo de verde disponível para os ônibus.

Como no caso de travessias em meio de quadra, é preferível dar tempo de verde suficiente para que os pedestres atravessem a rua em uma única fase. Aqui, isto demandaria uma fase verde para pedestres de pelo menos 26 segundos para atravessar o corredor BRT e 15 segundos para a via transversal. Isto pode ser feito facilmente com um ciclo semaforico curto que também permite alta capacidade para o corredor de ônibus.

INTERSEÇÃO ENTRE VIAS PRINCIPAIS COM CONVERSÃO À ESQUERDA

Nas vias com ônibus na faixa central, a conversão à esquerda inicia mais distante do eixo da via do que na maioria dos outros tipos de via. Conseqüentemente, pode ser difícil acomodar ambas as conversões à esquerda sem sobreposição. Uma solução comum no sistema TransMilenio de Bogotá é permitir apenas uma das duas conversões à esquerda (geralmente a com maior volume de tráfego) e substituir as outras por alças.



Recomenda-se usar semáforos especiais para os ônibus em todo o comprimento dos corredores BRT ou de ônibus. Devem ser claramente diferentes dos semáforos comuns. São apresentadas aqui várias opções de semáforos para ônibus (à esquerda, semáforo para ônibus segundo os requerimentos na Dinamarca; meio: semáforo do Metrobus da Cidade do México; direita: semáforo padrão com a placa “ÔNIBUS”).

A conversão à esquerda deve ser feita a partir da faixa adjacente à faixa do ônibus. Os veículos devem ter uma fase específica para a conversão à esquerda, durante a qual todos os outros movimentos terão sinal vermelho.



SEGURANÇA

Cada movimento de conversão à esquerda a mais em uma interseção pode aumentar os atropelamentos em 30% e as colisões entre veículos em mais de 40% (modelos da Cidade do México e Porto Alegre, $p < 0,001$).

Recomenda-se permitir a conversão à esquerda a partir de corredores BRT ou de ônibus apenas em locais que satisfazem um dos seguintes critérios:

- onde se espera um grande volume de tráfego com conversão à esquerda e este tráfego não pode ser acomodado nas vias adjacentes ou próximas, tornando uma alça inviável.
- áreas onde as quadras são excessivamente longas, indicando que a alça mais curta disponível significa um desvio significativo. Isto pode ocorrer em zonas industriais, perto de campi universitários importantes ou em cidades com escassa malha viária.

Se a conversão à esquerda for permitida, deve ter fase semafórica e faixa de conversão exclusivas. Não é recomendado permitir que o tráfego convirja para a faixa de ônibus ou haja uma faixa compartilhada para ônibus e conversão à esquerda. Dados de Bogotá, Cidade do México e Guadalajara sugerem que, quando veículos das faixas de tráfego misto entram nas faixas de ônibus frequentemente há colisão com os ônibus.



Diagrama do acidente: o tipo mais comum de acidente envolvendo ônibus em BRT ou corredores de ônibus em faixas centrais: carros que fazem conversão à esquerda ilegalmente na frente dos ônibus.

OPERAÇÕES

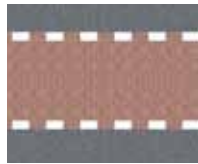
Permitir conversão à esquerda a partir do corredor de ônibus reduz o tempo total de verde disponível para os ônibus, pois estes devem estar no sinal vermelho durante qualquer fase de conversão à esquerda. O impacto exato sobre a capacidade vai depender do tempo real de semáforo e do número de conversões à esquerda permitido.

Se a conversão à esquerda for permitida apenas a partir de uma das vias, então a capacidade desta interseção continua consideravelmente maior do que a capacidade real do sistema, que será limitada pelo layout da estação. No entanto, se a conversão à esquerda for permitida tanto a partir da via principal como da via transversal com fase semafórica protegida, há o risco de que esta interseção se torne um gargalo para todo o corredor.

A conversão à esquerda é um dos casos em que as mesmas recomendações melhoram a segurança e as operações. A proibição da conversão à esquerda elimina um movimento perigoso e, ao mesmo tempo, minimizam as fases semafóricas necessárias, maximizando assim a capacidade do corredor de ônibus.

INTERSEÇÕES - BRT / CORREDOR DE ÔNIBUS EM FAIXAS CENTRAIS

INTERSEÇÃO DE VIAS PRINCIPAIS COM PRESENÇA DE CICLOVIAS



A sinalização horizontal da ciclovia deve continuar ao longo da interseção. Nesta figura, foi usada uma linha pontilhada grossa para indicar aos ciclistas os lugares onde os veículos podem cruzar a ciclovia. Deve-se verificar as normas aplicáveis para encontrar a sinalização horizontal corretas.



Sinalização horizontal da ciclovia.



Recomenda-se escalonar as linhas de retenção para o tráfego misto e para os ciclistas, colocando a linha de retenção da ciclovia levemente à frente. Isto pode ajudar a garantir que os ciclistas sejam vistos pelos motoristas que convertem à direita.

Nesta figura, apresenta-se uma distância de 1 metro entre as duas linhas de retenção. Esta distância pode ser de até 5 metros.

SEGURANÇA VIÁRIA

A importância de fornecer infraestrutura adequada nos BRT e corredores de ônibus foi discutida nas páginas 26 - 27. Nesta seção, apresentam-se conceitos de projetos de interseções ao longo de corredores de ônibus que possuam, em paralelo a estes, ciclovias ou ciclofaixas.

O conflito mais importante a considerar é aquele entre ciclistas que continuam através da interseção e veículos que convertem à direita. O fundamental para aumentar a segurança é ter certeza de que a ciclovia seja claramente visível para os motoristas que se aproximam da interseção. Recomenda-se eliminar a barreira física ao longo da ciclovia vários metros antes da interseção para garantir melhor visibilidade. A ciclovia também deve ser claramente marcada ao cruzar a interseção e a sinalização horizontal deve deixar claro para os ciclistas que outros veículos podem cruzar pela ciclovia naquele ponto.



Exemplo de sinalização vertical e horizontal para ciclovias. Foto cortesia de Carsten Wass.

OPERAÇÕES

O único impacto das ciclovias nas operações dos ônibus seria manter os ciclistas fora das faixas dedicadas aos ônibus e, com isso, eliminar possíveis atrasos dos ônibus que se utilizam de velocidades reduzidas para evitar a colisão com ciclistas que trafegam a sua frente. A capacidade e a velocidade de operação do sistema de ônibus não são afetadas de nenhuma outra forma pela presença da ciclovia.



SEGURANÇA VIÁRIA

A maioria dos problemas de segurança viária relacionados com este tipo de interseção já foi abordado nas páginas anteriores. Os principais problemas do projeto são: manter a área da interseção tão estreita quanto possível, evitar longas travessias de pedestres e manter os veículos sem autorização fora das faixas dedicadas aos ônibus.

Também é importante garantir que o tempo de verde para os pedestres atravessarem a via tenha duração suficiente para que estes possam atravessar toda a seção viária em uma única fase.

Além disso, esta figura ilustra como podem ser colocados os gradis para pedestres ao longo do meio-fio da calçada, ao invés de posicioná-los no canteiro central. Isto ajudaria a evitar o estacionamento ilegal sobre a calçada.

OPERAÇÕES

O tempo de verde para a travessia de pedestres deve ser de, no mínimo, 28 segundos para que os pedestres possam atravessar toda a seção viária em uma única fase, considerando que a largura da via é de 28 metros entre calçadas. É provável que o tempo semafórico disponível para os pedestres cruzarem a via arterial seja ajustado pelos volumes de tráfego na via transversal, mas é importante para a segurança do pedestre que o tempo mínimo de travessia seja respeitado.



SEGURANÇA VIÁRIA

O fechamento do cruzamento com a via transversal pode reduzir em até 36% as colisões de veículos nesta interseção (modelo Guadalajara, $p < 0,001$).

No entanto, isto pode não trazer benefícios para os pedestres. Quando o canteiro central é estendido, eliminando o cruzamento de veículos, é comum nos sistemas BRT existentes também eliminar os semáforos e a faixa de pedestres. Mas, como foi observado durante as inspeções de segurança viária, os pedestres continuam a atravessar nesses locais, expondo-se ao risco de atropelamento. Consequentemente, recomenda-se manter as faixas de pedestres e os semáforos. Além disso, alguns veículos podem não parar no sinal vermelho se o único conflito for com tráfego de pedestres. Recomenda-se diminuir este risco potencial colocando lombadas suaves antes da interseção.

OPERAÇÕES

A capacidade das faixas de ônibus nesta interseção é limitada pela duração do tempo de verde disponibilizado para os pedestres cruzarem a via principal, por isso, se todo o resto for igual, o bloqueio da via transversal não deverá ter um impacto na capacidade.

No entanto, a presença do semáforo para pedestres reduz a velocidade média de operação, em comparação com a prática-padrão dos corredores BRT de eliminar travessias e semáforos em pontos onde a interseção é fechada. Isto significa um descréscimo na velocidade de operação em benefício da segurança de pedestres. Recomenda-se haver, no mínimo, uma travessia de pedestres controlada por semáforo a cada 300 metros.

Os semáforos de repetição são especialmente importantes nestes locais. Os ciclistas que esperam nas áreas sinalizadas (queue boxes) para completar a conversão à esquerda não enxergam o semáforo localizado antes da interseção e dependem exclusivamente do semáforo de repetição.



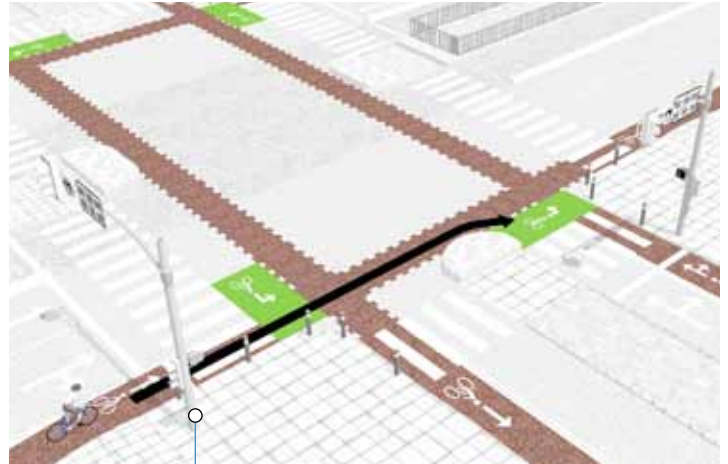
A localização mais segura para a ciclovia é entre a calçada e a faixa de estacionamento. Esta localização ajuda a eliminar conflitos entre bicicletas e veículos que estão estacionados ou manobrando para entrar e sair das vagas de estacionamento.

Estacionamento na via.

Zona de segurança entre faixa de estacionamento e ciclovia. Isto pode ajudar a proteger os ciclistas da abertura inesperada de portas de carros estacionados – um problema de segurança comum para ciclistas.

SEGURANÇA VIÁRIA

A maior preocupação de segurança em uma interseção, onde ambas as vias possuem infraestrutura para bicicletas, é como acomodar as conversões dos ciclistas à esquerda. Há diversas opções para os projetistas, incluindo áreas para as bicicletas à frente dos demais veículos (bike boxes) e também áreas para fila de conversão em dois estágios (two-stage turn queue boxes) (NACTO, 2011). Recomenda-se o uso de áreas para a conversão em dois estágios e ilustre-se o conceito na figura ao lado. Os ciclistas que desejarem converter à esquerda deverão, primeiro, atravessar a interseção, depois esperar o tempo de verde para a via transversal na devida área sinalizada (queue box). Esta é a melhor prática internacional (NACTO, 2011) e também é a opção que minimiza conflitos entre ciclistas e outros usuários da via.



Primeiro estágio da conversão à esquerda. Os ciclistas devem seguir em frente ao longo do corredor BRT durante a fase verde, parar na área sinalizada (queue box) à sua direita e aguardar nesta área até que o semáforo mude para vermelho.



Segundo estágio da conversão à esquerda. Quando o semáforo muda para verde para os veículos da via transversal, os ciclistas podem cruzar o corredor BRT junto com o restante do tráfego. Nestes casos, é de extrema importância a presença do semáforo de repetição após a interseção. Os ciclistas que aguardam para fazer a conversão não conseguem ver o semáforo localizado antes da interseção, dependendo exclusivamente do semáforo de repetição.

INTERSEÇÕES - BRT / FAIXA DE ÔNIBUS JUNTO AO MEIO-FIO

INTERSEÇÃO ENTRE VIAS PRINCIPAIS – QUADRAS LONGAS

Para trechos com quadras mais longas, poderão ser usadas barreiras entre a faixa de ônibus e as outras faixas após a interseção. Essas barreiras devem ser retiradas nas proximidades da interseção seguinte, onde forem permitidas conversões de veículos à direita.

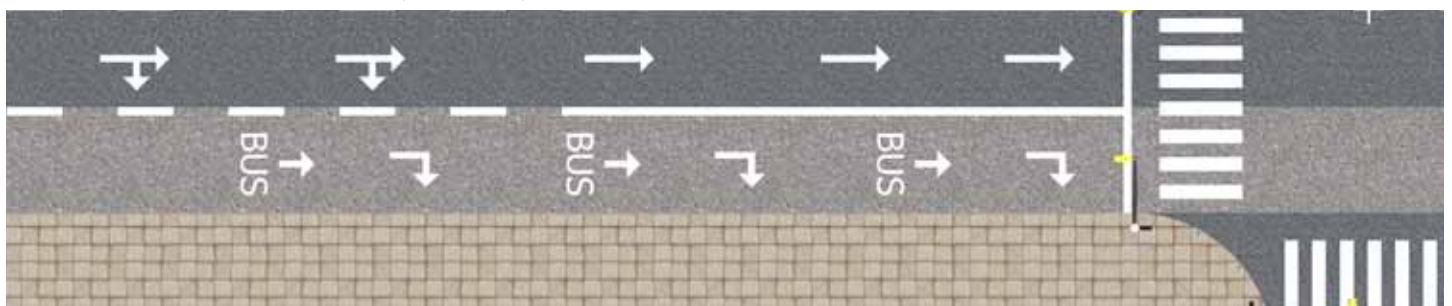


A sinalização horizontal na faixa junto ao meio-fio deve indicar claramente que os veículos trafegando nesta faixa devem fazer conversão à direita, mas que os ônibus estão isentos desta regra, ou seja, podem seguir em frente. Verifique as normas aplicáveis para encontrar a sinalização horizontal e vertical correta para esta situação.

O raio de conversão neste exemplo é muito pequeno, justamente para evitar que os veículos façam conversão à direita e acidentalmente ingressem na faixa de ônibus. Entretanto, há espaço suficiente para converter à direita com segurança para uma das faixas de tráfego misto.

Isto não deve ser usado em casos em que pode haver necessidade de alguns veículos fazerem a conversão para a faixa de ônibus (por exemplo, veículos de manutenção, serviços de ônibus locais que dividem a mesma faixa de ônibus, ambulâncias, etc.)

Planta da aproximação a uma interseção ao longo do corredor de ônibus. Os veículos que convertem à direita podem entrar na faixa de ônibus junto à calçada antes da interseção e, depois, fazer a conversão à direita a partir da faixa de ônibus. O espaço para ingresso de veículos na faixa de ônibus deve ser de, no mínimo, 50 metros de extensão.



SEGURANÇA VIÁRIA

Uma das principais questões de segurança viária a considerar nas interseções com faixas de ônibus junto ao meio-fio é como tratar as conversões à direita.

TRÁFEGO DE CONVERSÃO À DIREITA COMPARTILHADO COM A FAIXA DE ÔNIBUS

A opção recomendada da perspectiva de segurança viária é que os divisores entre a faixa de ônibus e as faixas de tráfego misto sejam retirados bem antes da interseção, e que o tráfego de conversão à direita tenha permissão para entrar na faixa de ônibus. Há um conflito potencial quando os veículos entram na faixa de ônibus, mas este risco pode ser mitigado permitindo uma área de confluência mais extensa.

CONVERSÃO À DIREITA DIRETAMENTE DA FAIXA DE TRÁFEGO MISTO

Também é possível permitir conversões à direita da faixa adjacente à faixa de ônibus junto ao meio-fio. É o que ocorre atualmente no Eje Central, na Cidade do México. Embora não se tenha dados para avaliar a segurança desta opção, podemos mencionar diversos riscos potenciais à segurança viária. Se as conversões à direita e movimentos de passagem dividem o mesmo tempo de verde, como no Eje Central, há um sério risco de colisões entre os veículos que fazem a conversão e os ônibus (um problema semelhante ao de conversão à esquerda nos sistemas de faixa central). Se as conversões à direita têm um tempo de verde separado, e se um ônibus está esperando no vermelho numa linha de retenção, os veículos que estão fazendo a conversão à direita poderão ter pouca visibilidade da faixa de pedestre à sua direita. Da mesma forma, os pedestres podem não ver (ou não esperar) veículos que estão convertendo à direita e que surgem por trás dos ônibus, o que pode provocar acidentes.

OPERAÇÕES

Os sistemas de ônibus junto ao meio-fio raramente alcançam capacidades acima de 5.000 pass/h/sentido (Wright e Hook, 2007). Mesmo quando contabilizados os veículos que convertem à direita a partir da faixa de ônibus e o atraso causado pelos veículos que convertem à direita e aguardam a travessia de pedestres na via transversal, a capacidade desta interseção é mais de 4 vezes maior do que a capacidade do corredor.

Este cálculo não inclui as interferências causadas por micro-ônibus e por outros veículos sem autorização que usam as faixas de ônibus, ou pelo estacionamento ilegal, assim como por pedestres e ciclistas que utilizam essas faixas, fatores que provavelmente reduziram ainda mais a capacidade.

INTERSEÇÕES – FAIXA PRIORITÁRIA DE ÔNIBUS OU TRÁFEGO MISTO
INTERSEÇÃO ENTRE VIAS PRINCIPAIS – QUADRAS CURTAS



SEGURANÇA VIÁRIA

Quando as quadras têm menos de 200 m (comum em áreas centrais densas) não é viável usar qualquer tipo de barreira física entre as faixas de ônibus junto ao meio-fio e as de tráfego misto. As barreiras não deixariam espaço suficiente para criar uma área de confluência segura para os veículos que fazem conversão à direita. Nestes casos, o corredor de ônibus junto à calçada vai operar como um sistema de ônibus convencional no tráfego misto.

Não é possível manter veículos sem autorização fora das faixas de ônibus, exceto através da aplicação estrita das normas. Devido ao alto número de conflitos possíveis com os veículos que fazem conversão, os ônibus provavelmente operarão a velocidades mais baixas. Também é possível que a faixa de ônibus fique extremamente congestionada, como no caso da faixa junto ao meio-fio na Av. Alcalde, no centro de Guadalajara, México, ou do Eje Central, nas proximidades do centro da Cidade do México.

No modelo de frequência de acidentes de Guadalajara, a presença do congestionamento na faixa junto ao meio-fio foi correlacionada com taxas mais altas de colisões e de atropelamentos e os resultados foram significativos ($p < 0,001$). Mas a grande maioria das colisões foi de pequeno porte e resultou apenas em danos materiais.

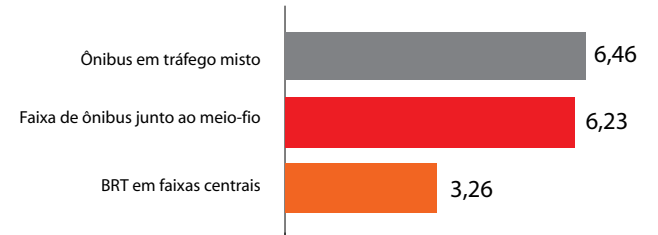
Dados sobre acidentes também mostram que os ônibus são os veículos que mais se envolvem em acidentes na Av. Alcalde e 16 de Septiembre, com mais ocorrências que automóveis, caminhões ou micro-ônibus. A qualidade dos dados é insuficiente para fazer uma análise mais profunda dos tipos de acidentes e dos fatores que contribuem para os mesmos neste corredor. No entanto, há dados suficientes para indicar que as faixas junto ao meio-fio possam apresentar mais problemas de segurança que os sistemas de faixa central. Portanto, ao projetar as faixas de ônibus junto ao meio-fio, é importante reduzir todos os demais riscos conhecidos para aumentar a segurança da via: estreitar as interseções, encurtar as travessias de pedestres, assegurar o equilíbrio no número de faixas antes e depois da interseção e o alinhamento das faixas, etc.

OPERAÇÕES

Quando não há separação física entre as faixas de ônibus e as faixas de tráfego misto, fica muito mais difícil garantir a alta frequência e a alta capacidade do serviço de ônibus. O corredor de ônibus vai operar mais ou menos como o serviço de ônibus convencional no tráfego misto. Além disso, os ônibus poderão, às vezes, precisar trocar de faixa para ultrapassar veículos estacionados nas faixas de ônibus, o que os deixará mais lentos.

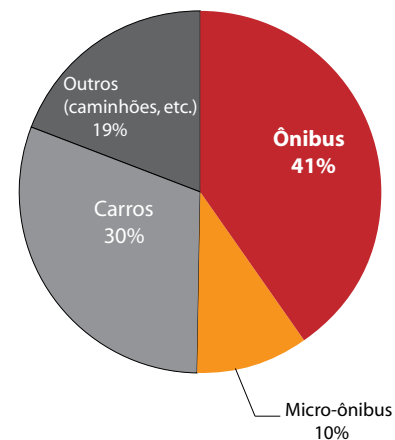
COMPARAÇÃO DOS DADOS DE ACIDENTES DE TRÂNSITO PARA TRÊS TIPOS DE CORREDORES DE ÔNIBUS EM GUADALAJARA, MÉXICO

Média anual de acidentes por km de faixa a cada 1.000.000 veículos



Cálculo com base nos dados fornecidos pela Secretaría de Vialidad y Transporte de Jalisco e pela E.P.S., Guadalajara. As faixas de ônibus junto ao meio-fio incluem trechos da Av. Alcalde e 16 de Septiembre. O sistema BRT em faixas centrais inclui a Calz. Independencia e Av. Gobernador Curiel. Os dados sobre tráfego misto incluem trechos da Av. Circunvalación, Belisario Dominguez e Calz. del Ejercito.

VEÍCULOS ENVOLVIDOS EM ACIDENTES EM UM CORREDOR DE ÔNIBUS JUNTO AO MEIO-FIO EM GUADALAJARA (AV. ALCALDE)



PRINCIPAIS PROBLEMAS DE SEGURANÇA VIÁRIA

ACESSO DE PEDESTRES À ESTAÇÃO

As estações têm maiores volumes de pedestres que a maioria dos outros pontos de um corredor de ônibus, já que, além do tráfego normal de pedestres, há o tráfego de entrada e saída da estação. O risco de atropelamentos é maior nestes pontos e não se deve apenas à maior exposição. Também há a questão do comportamento arriscado e particularmente tentativas de fazer travessias imprudentes.

O projeto e o layout das estações podem influenciar na frequência em que pedestres fazem movimentos arriscados. A utilização de estações fechadas com pontos de acesso controlados, que direcionam o tráfego de pedestres para travessias sinalizadas, é a configuração mais segura. Estações abertas com plataformas baixas são geralmente mais propensas às imprudências, enquanto que as estações fechadas, com plataformas altas, podem reduzir a incidência destes movimentos perigosos.

CONFLITOS ENTRE ÔNIBUS

Este é um problema que precisa ser considerado nos corredores de alto fluxo de veículos, especialmente naqueles com faixas de ultrapassagem e com a combinação de serviços expressos e locais, onde os conflitos entre diferentes ônibus são mais prováveis.

Os tipos mais comuns de conflitos nas estações são aqueles entre ônibus que entram e saem das faixas expressas. Na página 57 são discutidos detalhadamente os tipos específicos de acidentes.



Pedestres cruzando as faixas de ônibus na tentativa de entrar na estação sem pagar a passagem, no TransMilenio. Foto EMBARQ.

Nas páginas que seguem apresentam-se diversos conceitos de projeto para estações de ônibus que abordam os principais problemas de segurança viária.

O principal problema é o mesmo, independentemente do tipo de estação: controlar os movimentos dos pedestres e impedir as imprudências. Porém, as soluções de projeto para atingir esse resultado são diferentes, dependendo do tipo de estação e do método de cobrança de tarifas usado pelo sistema de ônibus.

Inicia-se com um conceito de projeto para uma estação em um corredor BRT de faixa central. Este é separado em duas partes: a primeira refere-se ao acesso do pedestre à estação e ao projeto detalhado da estação e da plataforma. Na página 77 (transbordos e terminais), apresenta-se um conceito de projeto de acesso de bicicletas a uma estação BRT.

A seguir, mostra-se um caso especial de estações no canteiro central – aquelas que são comuns em sistemas

de alta capacidade como o TransMilenio e que apresentam múltiplas plataformas e faixas expressas. Neste caso, além de abordar o acesso de pedestres, os projetistas também devem ter atenção aos conflitos potenciais entre os ônibus.

No decorrer deste capítulo, ilustram-se conceitos de estações de ônibus em corredores que não usam sistema de tarifa pré-paga – como os corredores de ônibus abertos, faixas de ônibus junto à calçada ou serviços convencionais de ônibus em sistemas de tráfego misto.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| BRT: Estação no Canteiro Central - acesso em uma via arterial..... | 52 |
| BRT: Estação no Canteiro Central - projeto de estação e plataforma..... | 54 |
| BRT e corredores de ônibus: Estação no Canteiro Central - faixas expressas e múltiplas plataformas | 56 |
| Estação de ônibus em uma interseção..... | 58 |
| Estação de ônibus em faixa junto à calçada..... | 60 |
| Ponto de ônibus em faixa prioritária / serviço de ônibus convencional..... | 61 |

BRT: ESTAÇÃO NO CANTEIRO CENTRAL ACESSO EM UMA VIA ARTERIAL



Recomenda-se não permitir conversões à direita que representem conflito com o acesso do pedestre à estação. Deve haver uma placa indicativa de “proibido entrar à direita” e uma placa com a alça indicando o caminho alternativo para fazer a conversão à esquerda. Devem ser verificados as normas para identificar a sinalização correta em cada caso.



Um tempo de verde mais longo para o corredor de ônibus aumentará a capacidade deste sistema, mas isto tem uma desvantagem, especialmente em estações com alto número de embarques e desembarques. Um tempo de verde mais longo para o corredor ônibus significa um tempo de vermelho mais longo para os passageiros que saem da estação e desejam atravessar a via. Em alguns casos, existe o risco de que a área de espera dos pedestres fique lotada rapidamente. Isto pode fazer com que haja pessoas esperando nas faixas de ônibus ou atravessando com sinal vermelho, ambos provocando sérios riscos para os pedestres.

A desvantagem de proibir a conversão à direita é que o tráfego é redirecionado para a vizinhança e pode simplesmente transferir o risco para outras vias. Uma forma de lidar com conflitos de conversão à direita é usar uma faixa exclusiva para conversão a direita e uma fase semafórica exclusiva para a conversão. Esta solução tem sido aplicada com sucesso em Nova Iorque e em Washington.



Área de espera dos pedestres lotada na saída da estação da Calle 72 na TransMilenio. Foto EMBARQ.

SEGURANÇA VIÁRIA

Visando aumentar a segurança nas estações, recomenda-se adequar seu projeto ao comportamento observado dos pedestres. Particularmente, os projetistas devem limitar as oportunidades para travessias imprudentes, projetando estações fechadas e usando gradis para direcionar os pedestres até as travessias sinalizadas.

A principal recomendação em relação à segurança é o uso de estações fechadas. Esta configuração deve ser adotada independente do sistema usado para cobrança de tarifa, seja pré-pago ou a bordo. A estação deve ter pontos de acesso situados somente nas travessias de pedestres com semáforo ou nas passarelas.

Outro aspecto importante de segurança é a inclusão de gradis ao longo da divisão entre as faixas de ônibus e as faixas de tráfego misto. Estes gradis ajudam a impedir a tentativa dos pedestres de atravessar as faixas de ônibus para chegar e sair da estação.

Também foi observado durante as inspeções de segurança viária, que os pedestres muitas vezes atravessam pelo canteiro central quando saem de uma estação situada na parte central da via. Este tipo de comportamento é bastante comum e pode ser difícil de evitar, não sendo necessariamente perigoso, já que em geral não há movimentos conflitantes quando os pedestres atravessam durante o tempo de verde para os ônibus.

Recomenda-se planejar uma travessia semaforizada para pedestres de maneira a acomodar este movimento, seguindo o exemplo do sistema Macrobus, de Guadalajara. Também é importante garantir que os movimentos de conversão sejam proibidos, já que podem entrar em conflito com os pedestres que atravessam nestes pontos (como as conversões à esquerda a partir do corredor de ônibus).

OPERAÇÕES

O problema principal a considerar no que se refere ao acesso às estações é a superlotação no canteiro central e em quaisquer refúgios que possam existir.

Uma estação típica numa faixa única do sistema BRT como o Metrobus na Cidade do México terá, comumente, entre 2.000 e 17.000 passageiros diários saindo de uma estação (EMBARQ México, pesquisa Metrobus, 2007). Dados de uma auditoria de segurança viária em um corredor BRT proposto para o Rio de Janeiro indicam que em uma das estações mais movimentadas poderão ter até 100 passageiros deixando a estação na horário de pico durante um único ciclo semaforico.

Nestes casos, os acessos às estações precisam ser estudados juntamente com a programação semaforica para impedir que grandes números de pedestres fiquem presos em canteiros centrais estreitos onde não há área suficiente para acomodá-los.



Um componente-chave para a segurança do projeto das estações é colocar uma barreira ou um gradil entre a faixa de ônibus e as faixas de tráfego misto. Isto deve ajudar a impedir as tentativas dos pedestres de fazer travessias imprudentes nas faixas de ônibus para entrar ou sair da estação..



Pedestres correndo através das faixas de ônibus para entrar em uma estação do TransMilenio. Foto EMBARQ.

Portas automáticas na plataforma na interface entre os ônibus e a estação são uma boa solução de segurança para as estações BRT. As portas devem estar alinhadas com as portas dos ônibus, e projetadas para abrir somente quando há um ônibus parado na estação. Entretanto, o mecanismo para abertura das portas precisa ser projetado cuidadosamente, para garantir que não seja ativado acidentalmente com a passagem de um ônibus expresso ou por um ônibus que esteja parando em outro ponto da estação.



Porta automática em uma estação BRT em Curitiba. As portas estão abertas, embora não haja nenhum ônibus na estação. Isto é um risco numa estação lotada, já que os passageiros podem cair acidentalmente nas faixas de ônibus. Foto cortesia da EMBARQ Brasil.

SEGURANÇA VIÁRIA

As estações localizadas no canteiro central precisam ser projetadas como espaços fechados – cercadas por paredes de vidro ou por gradis altos que direcionem os pedestres para pontos de acesso específicos localizados em travessias de pedestres semaforizadas. As estações devem seguir esses princípios de projeto, independente do sistema de cobrança de tarifas usado (pré-pago ou a bordo) ou dos tipos de veículos.

USO DE GRADIS ALTOS ENTRE AS FAIXAS DE ÔNIBUS E AS FAIXAS DE TRÁFEGO MISTO

Este é o elemento de segurança mais importante no projeto de uma estação, já que ajuda a eliminar os movimentos mais perigosos dos pedestres – a travessia das faixas de ônibus para entrar ou sair ilegalmente da estação.

Este gradil deve ter, no mínimo, 1,70 m e, se possível, ser ainda mais alto, para garantir que os pedestres não o ultrapassem facilmente. Os gradis devem ser resistentes, já que são frequentemente danificados por pessoas que tentam atravessar ilegalmente e devem cobrir toda a extensão da estação, sem nenhuma abertura.

USO DAS PORTAS AUTOMÁTICAS

As portas automáticas poderão ser úteis para evitar as travessias imprudentes e também para garantir que os passageiros que esperam na plataforma fiquem afastados dos ônibus que manobram nas faixas. No entanto, estas portas automáticas podem apresentar diversos problemas. Além dos problemas com aberturas acidentais discutidas na página anterior, também existe o problema das pessoas forçarem a sua abertura. Às vezes, esta é uma tentativa de entrar ou de sair da estação ilegalmente ou de atravessar correndo as faixas de ônibus. Porém, em alguns casos, foram observados passageiros simplesmente evitando o fechamento das portas enquanto esperam o ônibus.

LIGAÇÃO ENTRE DIFERENTES PLATAFORMAS



TransMilenio 2006: uma ligação entre duas plataformas em uma mesma estação. Observa-se que os baixos, de aproximadamente 1 metro de altura, permitem que as pessoas pulem por cima facilmente. Este era um importante risco à segurança de pedestres. Foto EMBARQ.



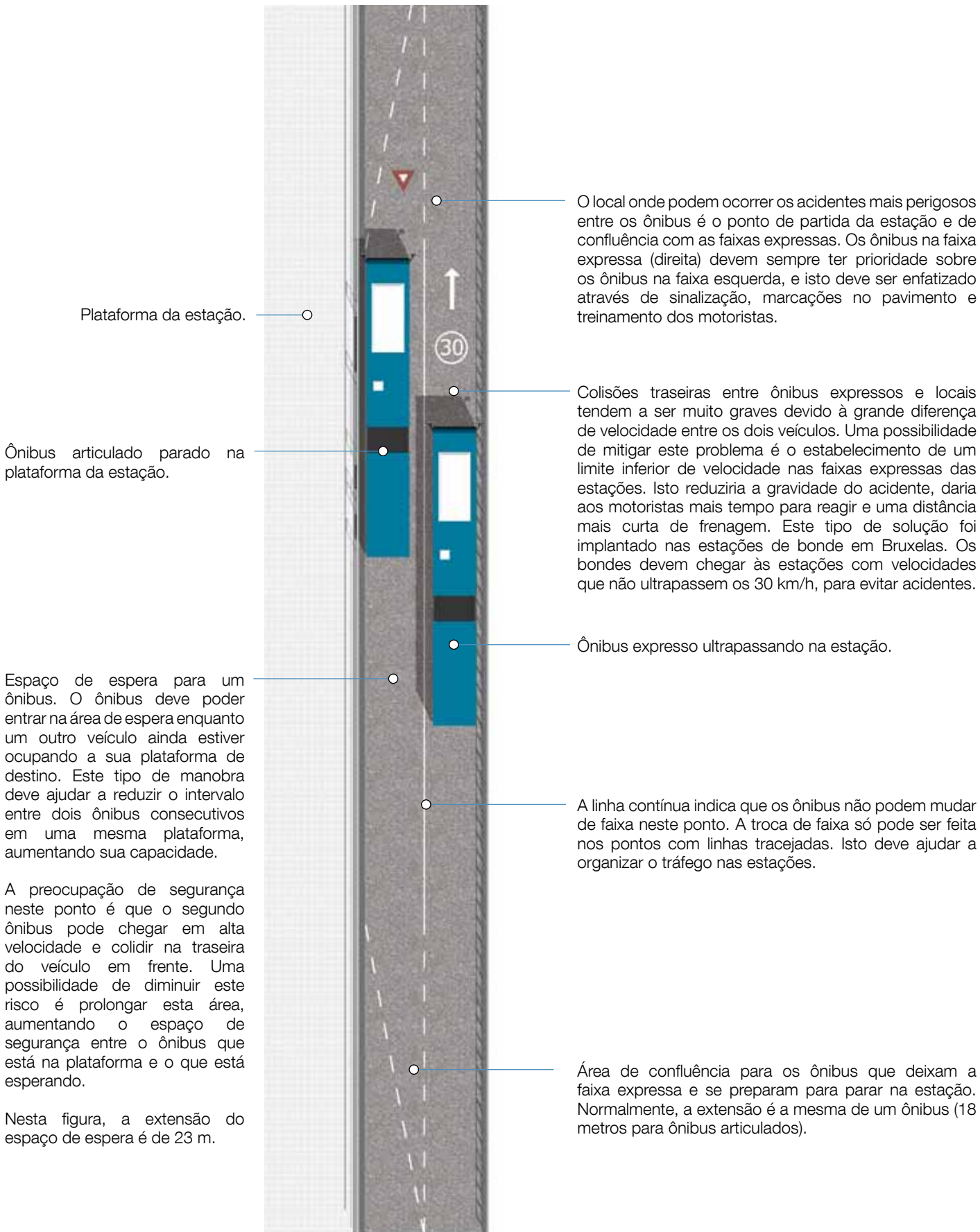
TransMilenio 2011: os gradis ao longo desta ligação foram elevados para que seja mais difícil escalá-los. Recomenda-se este tipo de gradil mais alto em trechos que conectem diferentes partes de uma mesma estação. Foto EMBARQ.



Passageiros forçando a abertura de uma porta automática em uma estação do TransMilenio enquanto esperam pelo ônibus. Foto de Lucho Molina.

BRT: ESTAÇÃO NO CANTEIRO CENTRAL

PROJETOS DE ESTAÇÃO: FAIXAS EXPRESSAS E MÚLTIPLAS PLATAFORMAS



SEGURANÇA VIÁRIA

Para estações de alta capacidade com faixas expressas e múltiplas plataformas, devem ser considerados riscos adicionais à segurança. O mais grave é o risco de colisões entre os ônibus locais e os expressos, que podem ser graves e até fatais.

Quando os sistemas de ônibus precisam atingir picos de capacidade de 30.000, ou até 40.000, passageiros por hora por sentido, isso geralmente ocorre através de uma combinação de diversas faixas, múltiplas plataformas nas estações e uma combinação de serviços locais e expressos.

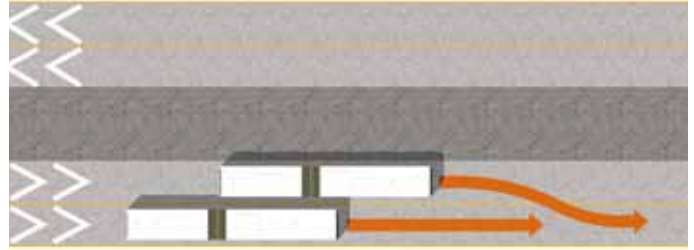
Isto também resulta num alto fluxo de ônibus. A seção mais movimentada do TransMilenio, por exemplo, tem até 350 ônibus por hora por sentido. Isto significa que os conflitos entre ônibus são muito mais frequentes e a chance de colisões entre diferentes ônibus é maior.

As colisões traseiras representam o tipo mais frequente de acidentes registrado entre ônibus no TransMilenio e também no BRT Metropolitano em Lima, cuja configuração é similar.

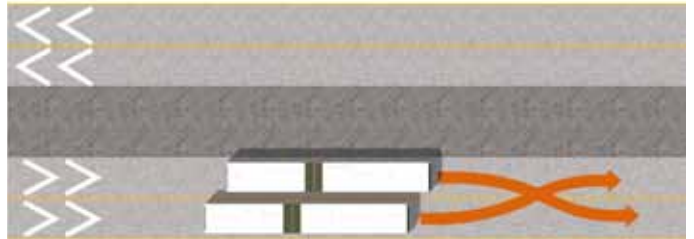
A maioria dos acidentes de colisão traseira ocorre fora das estações, mas aqueles que ocorrem nas estações tendem a ser mais graves porque geralmente envolvem ônibus expressos de alta velocidade colidindo com um ônibus local que está saindo da estação. As três colisões traseiras mais graves nas estações do TransMilenio entre 2005 e 2011 somadas foram responsáveis por mais de 170 feridos.

Outros tipos comuns de acidentes nas estações são os abalroamentos ou pancadas laterais entre ônibus que estão manobrando dentro ou fora da estação. Raramente resultam em ferimentos e o mais comum é que ocasionem danos nos espelhos laterais dos veículos.

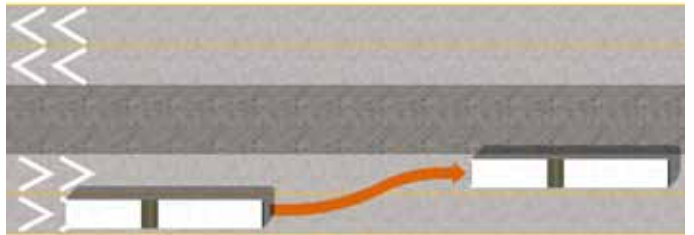
ACIDENTES ENTRE ÔNIBUS NAS ESTAÇÕES



Exemplo de um acidente grave em uma estação típica do TransMilenio: um ônibus local está saindo da plataforma da estação e convergindo para a faixa expressa quando sofre uma colisão traseira de um ônibus expresso que está passando pela estação. Este tipo de acidente tem causado graves ferimentos e, pelo menos, uma morte.



Exemplo de um acidente de baixa gravidade em uma estação típica do TransMilenio: um ônibus local que está saindo da plataforma da estação colide com um ônibus que tenta parar em outra plataforma. Estes acidentes geralmente acontecem em baixa velocidade, por isso raramente causam ferimentos.



Exemplo de acidente nas estações no TransMilenio, assim como nos BRT Metropolitano (Lima): um ônibus parado na estação sofre colisão traseira de outros ônibus que estão fazendo fila atrás para chegar à estação. Geralmente são colisões em baixa velocidade e, portanto, não causam acidentes graves como as colisões traseiras nas faixas expressas.

CORREDOR DE ÔNIBUS EM FAIXAS CENTRAIS ESTAÇÃO DE ÔNIBUS EM UMA INTERSEÇÃO



Pedestres deixando uma estação alimentadora do TransMilenio por um ponto de saída proibido.

Recomenda-se a colocação de um gradil após o final da plataforma da estação e prolongá-lo por pelo menos 10 a 12 metros. Da mesma forma, o gradil entre as duas faixas de ônibus deve ser estendido além das plataformas da estação. Isto ajuda a impedir que os pedestres façam travessias imprudentes em direção à estação e direciona-os ao ponto regulado de travessia.



Recomenda-se construir uma parede contínua ao longo da estação, preferencialmente transparente. Isto orienta os pedestres que saem e entram na estação em direção à travessia de pedestres semaforizada, e também permite que visualizem qualquer veículo nas faixas de tráfego misto.

Um elemento importante de segurança é o gradil entre as duas faixas de ônibus. Isto evita que os pedestres tentem fazer atalhos através das faixas de ônibus de uma plataforma da estação para a calçada, e os direciona até a travessia semaforizada.

SEGURANÇA VIÁRIA

Os corredores de ônibus geralmente têm estações abertas, baixas e pagamento de tarifa a bordo. Isto significa que, muitas vezes, o acesso de pedestres à estação não é bem regulado e há uma alta incidência de travessias imprudentes. Um estudo realizado em Porto Alegre, Brasil, revelou que trecho onde há a presença de estações em corredores de ônibus tem maior incidência de atropelamentos que outros pontos, considerando-se as diferenças de projeto da via, do tráfego e volume de pedestres (Diogenes e Lindau, 2009). A solução é projetar as estações de forma a possibilitar um maior controle do acesso de pedestres.

O controle do acesso de pedestres pode ser feito utilizando divisórias e/ou gradis. É essencial considerar todos os possíveis movimentos de pedestres que entram e saem da estação e garantir que seja permitida somente a movimentação através das travessias semaforizadas ou das passarelas.



Pedestres em travessia imprudente numa estação no corredor do BRT em Delhi. Foto EMBARQ.



Pedestre em travessia imprudente através das faixas de ônibus para chegar à plataforma da estação no corredor do BRT em Delhi. Foto EMBARQ.

OPERAÇÕES

As características de segurança de projeto aqui recomendadas (divisórias transparentes e gradis para controlar o movimento de pedestres) não devem ter nenhum impacto sobre a operação. Já que o conceito do projeto ilustrado na página 58 envolve uma faixa exclusiva de ônibus com pagamento da tarifa a bordo, a capacidade de passageiros será bastante baixa. Com este layout de estação e com diversas paradas, não excederia 6.000 pass/h/sentido (Wright e Hook, 2007).

Um aspecto importante a considerar é a interferência de uma estação na interseção. Se um ônibus acabou de embarcar e desembarcar passageiros e precisa esperar o tempo de vermelho do semáforo, poderá impedir o acesso de outros veículos à plataforma. Isto pode ser resolvido prevendo espaço suficiente após a estação para um ônibus esperar no tempo de vermelho do semáforo, enquanto os outros ônibus acessam a estação. Além disso, pode-se estabelecer a coordenação entre a duração da fase vermelha do semáforo e o tempo médio de parada numa estação. Um ciclo semaforico mais curto pode ajudar a resolver isto.



Um ônibus ultrapassando um veículo estacionado na estação junto à calçada no Transantiago, Santiago de Chile. Foto de Dario Hidalgo.

Localizar a estação do corredor de ônibus junto à calçada após a interseção e não antes, pode ajudar a eliminar alguns conflitos entre ônibus e veículos que convertem à direita. Particularmente, pode diminuir a probabilidade de que um veículo que espera o tempo de vermelho do semáforo bloqueie a estação para o ônibus.

Deve haver distância suficiente entre a estação e a interseção para acomodar o número de ônibus que poderão fazer fila na estação sem que estes bloqueiem a interseção.



SEGURANÇA VIÁRIA

Os pedestres podem tentar atravessar no meio da quadra para chegar à estação – especialmente se eles conseguem ver os ônibus se aproximando. Isto é um problema quando as linhas apresentam baixa frequência, o que leva o pedestre a reduzir seu critério de segurança para garantir que não perderá o próximo ônibus.

Este risco pode ser mitigado com a colocação de uma barreira ou gradil ao longo da estação, que deve ser

prolongado por pelo menos 10 a 12 metros além do final da plataforma da estação. Isto pode ajudar a reduzir a travessia imprudente e direcionar os pedestres até a travessia de pedestres semaforizada na interseção.

O risco de atropelamentos nas faixas prioritárias de ônibus ou em rotas de ônibus convencional é alto nos pontos onde não existem elementos para o aumento da segurança. Recomenda-se o uso de gradis para impedir as travessias imprudentes e a construção de refúgios para os pedestres ao longo do canteiro central.



SEGURANÇA VIÁRIA

No caso de faixas prioritárias ou serviço convencional de ônibus, o aumento da segurança está mais relacionado com o desenho geral da via e da estação.

O objetivo é o mesmo das outras estações: evitar as travessias imprudentes para acesso às estações e direcionar os pedestres para as travessias semaforizadas. Isto pode ser feito com a colocação de gradis no canteiro central e estendendo-os por toda extensão da quadra. Além disso, recomenda-se considerar todos os itens de segurança identificados nas seções anteriores (segmentos de via e interseções), enfocando especialmente as travessias imprudentes. Como o risco é alto para os pedestres nos corredores de ônibus convencionais, é importante dar especial atenção à sua segurança.

TRANSBORDOS E TERMINAIS

PRINCIPAIS PROBLEMAS DE SEGURANÇA VIÁRIA

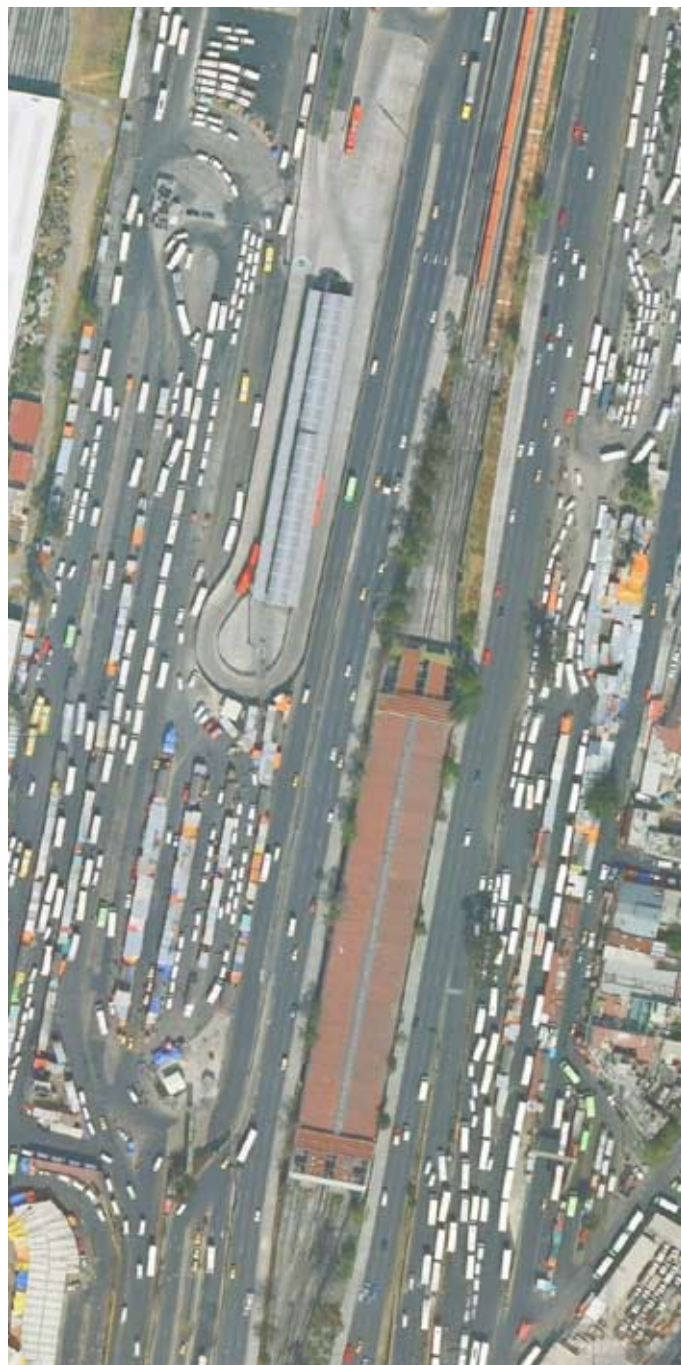
Na maioria dos sistemas de transporte público incluídos em nosso estudo, as principais estações de transbordo são os locais com maior número de acidentes. Dos dez pontos com o maior número de acidentes na Av. Caracas, do TransMilenio, três – inclusive o maior – são terminais ou estações de transbordo (Av. Jimenez, Portal de Usme, Santa Lucia). No Eixo Sul, em Curitiba, os três pontos com o maior número de acidentes são terminais (Pinheirinho, Raso e Portão).

Isto não significa necessariamente que as estações de transbordo e os terminais sejam mais perigosos, mas têm muito mais veículos e maior tráfego de pedestres que os demais pontos. Consequentemente, qualquer problema de segurança numa estação de transbordo importante poderá resultar em maior número de acidentes e feridos do que em qualquer outro local.

Para qualquer tipo de transbordo, o principal item de segurança a considerar é a segurança do pedestre. Os dados da pesquisa mostraram que as pessoas ficam consideravelmente mais seguras quando estão dentro do ônibus ou na plataforma da estação do que quando estão caminhando para a estação ou saindo dela. Os tipos de transbordo mais seguros entre diferentes linhas são aqueles onde os passageiros nunca precisam sair da plataforma da estação.

Isto nem sempre é viável e depende dos tipos de veículos e das estações usadas pelas diferentes rotas de transporte público, assim como do contexto urbano. Grandes terminais de transbordo integrados, onde todas as transferências são feitas através da plataforma são a solução ideal, mas isso exige muito espaço. Normalmente, estas estruturas podem ser construídas ao final de uma linha, em pontos extremos da cidade. Um exemplo é o TransMilenio, que possui terminais integrados ao final de cada corredor. As linhas troncais e alimentadoras se encontram nesses terminais.

Em outros casos, especialmente em áreas centrais densas, pode não haver espaço para um grande terminal; por isso, os transbordos normalmente acontecem em uma interseção. Neste caso se aplicam todos os conceitos de segurança para interseções, com algumas considerações extras para aumentar a segurança dos pedestres e acomodar conversões dos ônibus.



Vista aérea de Indios Verdes, Cidade do México, um ponto de transbordo entre o Metrobús BRT, o Metrô, e os micro-ônibus que fazem a conexão com o norte do Estado de México. Imagem do Google Earth.

Nas páginas seguintes são apresentados diversos conceitos de projetos para estações de transbordo e terminais que abordam os principais problemas de segurança discutidos nas páginas anteriores.

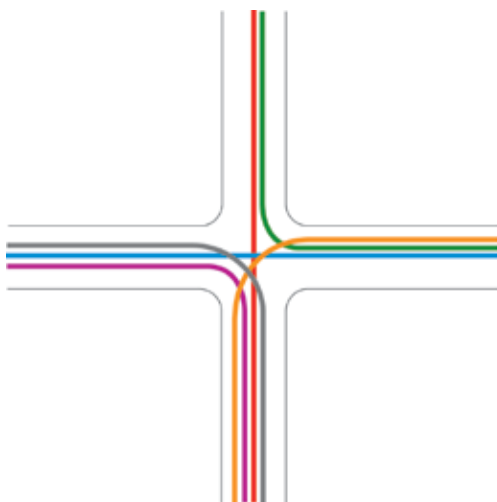
Inicia-se com recomendações acerca de transbordos entre linhas troncais de BRT ou corredor de ônibus. Em seguida, apresentam-se os transbordos entre linhas troncais e alimentadoras, assim como transbordos entre BRT e outros serviços de ônibus.

Em termos de segurança, há duas formas de avaliar os méritos relativos às diferentes configurações de transbordo. A primeira é a segurança dos passageiros que fazem o transbordo. Deste ponto de vista, a melhor opção são transbordos entre plataformas ou linhas de ônibus diretas que fazem todas as conexões possíveis.

O segundo aspecto a considerar é a segurança geral do local onde ocorre o transbordo – não somente para os passageiros em transbordo, mas para todos os usuários da via. Deste ponto de vista, os problemas são os mesmos que para as interseções e estações em geral: áreas estreitas de interseção, restrições à conversão, faixas de pedestre curtas e um bom desenho de acesso à estação para limitar as oportunidades de travessias imprudentes.

LISTA DE FIGURAS

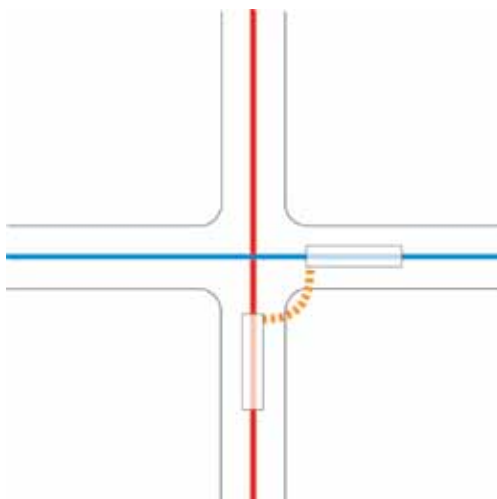
| | |
|---|----|
| Visão geral dos principais tipos de transbordo..... | 64 |
| TRANSBORDOS ENTRE LINHAS TRONCAIS | |
| Linhas diretas para todos os destinos..... | 66 |
| Uma linha por corredor, transbordo através de uma interseção..... | 68 |
| Uma linha por corredor, desvio de uma linha para garantir transbordo entre plataformas..... | 70 |
| TRANSBORDO ENTRE LINHAS TRONCAIS E ALIMENTADORAS | |
| Terminal de Transbordo Integrado..... | 72 |
| Transbordo através de uma interseção..... | 76 |
| Integração de um BRT com uma rede de ciclovias..... | 77 |



LINHAS DIRETAS PARA TODOS OS DESTINOS

EXEMPLO: TRANSMILENIO

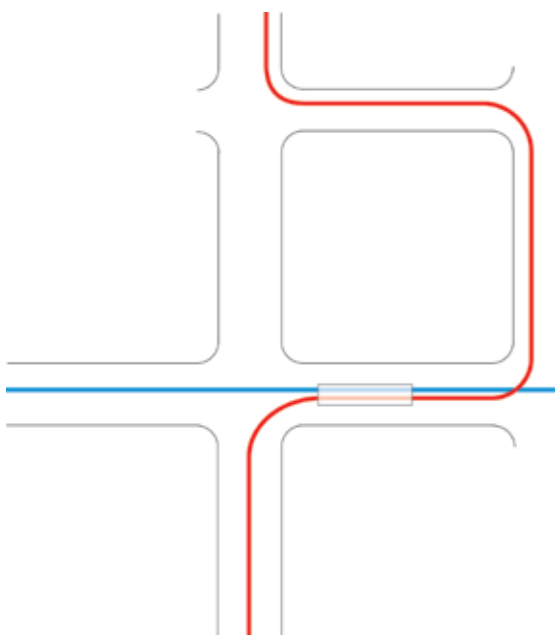
Neste cenário, há diferentes linhas de ônibus em cada corredor e há uma linha para cada destino possível. Os passageiros têm apenas que esperar o ônibus que os levará na direção certa; portanto, não há necessidade de nenhum transbordo. Esta é a opção mais segura, mas é também a mais complexa do ponto de vista operacional. O projeto da interseção precisa prever faixas de conversão separadas e fases semafóricas específicas para os diferentes movimentos dos ônibus, visando evitar atrasos ou então, usar passarelas ou túneis. Isto é discutido detalhadamente nas páginas 66-67.



TRANSBORDO ATRAVÉS DE UMA INTERSEÇÃO

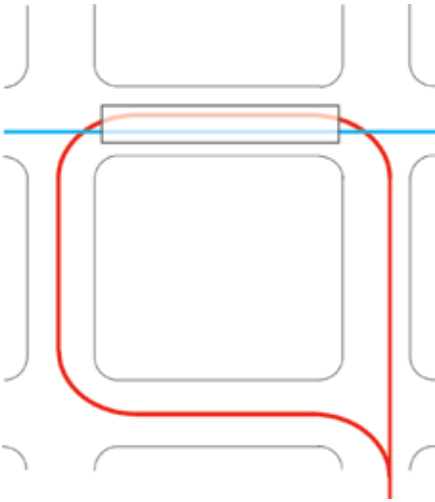
EXEMPLO: METROBÚS, CIDADE DO MÉXICO

Neste caso, há somente uma linha em cada corredor. Os passageiros em transbordo precisam sair de uma das estações, atravessar a via e embarcar para outras linhas em outra estação. Esta é a opção menos segura, já que os passageiros precisam atravessar várias faixas de tráfego para chegar à outra estação. Isto também poderá fazer com que os passageiros deixem de usar o sistema, já que os obriga a fazer um transbordo bastante difícil e pode exigir o pagamento de nova tarifa para entrar na segunda estação. Todos estes problemas poderiam ser evitados ligando as duas estações com uma passarela. Este tipo de transbordo é mostrado nas páginas 68 - 69.



OPÇÃO HÍBRIDA

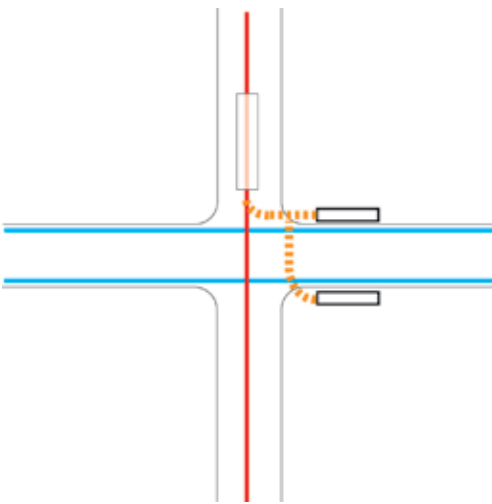
É possível fazer o transbordo entre plataformas mesmo com apenas uma linha de ônibus por corredor. Isto envolveria um desvio de uma quadra em uma das linhas para que os ônibus de ambas as linhas pudessem parar na mesma estação. Para passageiros em transbordo, esta seria a opção mais segura e também economizaria tempo. Mas a desvantagem é que esta opção aumentaria o tempo de percurso daqueles passageiros que continuam na linha vermelha. O desenho da interseção também seria complicado devido às diferentes conversões dos ônibus e à necessidade de manter o equilíbrio de faixas em todos os lados da interseção por motivos de segurança. Esta opção pode ser viável em casos onde a configuração da rede viária ou a estrutura das duas linhas de ônibus possa minimizar o desvio necessário para conduzir todos os ônibus até a mesma estação. Isto é analisado com mais detalhes nas páginas 70 - 71.



TERMINAL INTEGRADO

EXEMPLOS: TERMINAIS TRANSMILENIO, TERMINAL SAN JERONIMO OPTIBUS BRT, LEÓN

Este é um típico terminal de transbordo para um sistema tronco-alimentado integrado, como o TransMilenio. O terminal tem uma plataforma central, e ônibus com porta à direita e à esquerda podem estacionar em ambos os lados para que os passageiros só atravessem a plataforma para fazer o transbordo. Geralmente, demanda boa integração entre os diferentes serviços, mas na teoria também pode funcionar com serviços completamente independentes. O lado BRT da estação pode ser fechado e ter tarifa pré-paga, enquanto os outros lados podem ser abertos. Esta situação é discutida detalhadamente nas páginas 72 - 75. O transbordo em si é muito seguro, mas há risco de colisões entre ônibus nos pontos de acesso ao terminal.



TRANSBORDO PARA SERVIÇOS DE ÔNIBUS LOCAIS ATRAVÉS DE UMA INTERSEÇÃO

EXEMPLO: MACROBÚS, GUADALAJARA

Esta situação ocorre quando um BRT ou um corredor de ônibus atravessa uma via onde há serviço de ônibus local. Os diferentes serviços de ônibus não estão integrados (como no caso de um sistema troncal ou alimentador), mas alguns passageiros poderão fazer transbordos entre diferentes linhas. Os objetivos aqui são colocar as diferentes estações tão próximas quanto possível, para que a interseção apresente o menor risco para os pedestres e também para que o transbordo seja feito com a mínima distância de travessia.

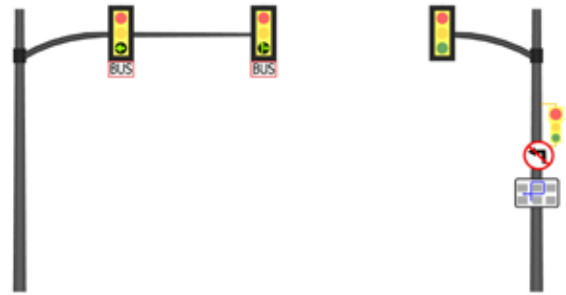
Esta não é a opção mais segura, já que envolve transbordos através das faixas de tráfego, mas é a mais fácil de implantar e não exige integração entre diferentes serviços. Este tipo de transbordo é apresentado na página 76.

TRANSBORDOS ENTRE LINHAS TRONCAIS DO MESMO SISTEMA LINHAS DIRETAS PARA TODOS OS DESTINOS



É muito difícil, na prática, permitir que os ônibus façam todas as conversões possíveis em uma interseção, pois isto resultaria em até seis fases semaforicas. Isto pode reduzir a capacidade de ambas as vias. Na prática, é comum permitir apenas algumas conversões de ônibus, dependendo dos padrões de tráfego e da demanda. Na figura abaixo, três das aproximações da interseção permitem conversões, enquanto uma delas permite apenas continuar em frente.

Neste tipo de configuração, é necessário colocar múltiplos semáforos para ônibus para que cada movimento de conversão tenha uma fase separada.



SEGURANÇA VIÁRIA

Esta é a opção mais segura para o transbordo de passageiros, já que não há transbordo real envolvido e os passageiros simplesmente escolherão o ônibus que os levarão ao seu destino.

Devido à necessidade de acomodar diversas conversões de ônibus, existe o risco de que este layout possa demandar uma grande área de interseção, o que poderia causar problemas para os pedestres. Este risco pode ser minimizado usando o menor raio de conversão possível para as conversões dos ônibus e acrescentando refúgios intermediários para os pedestres em diferentes pontos da via.

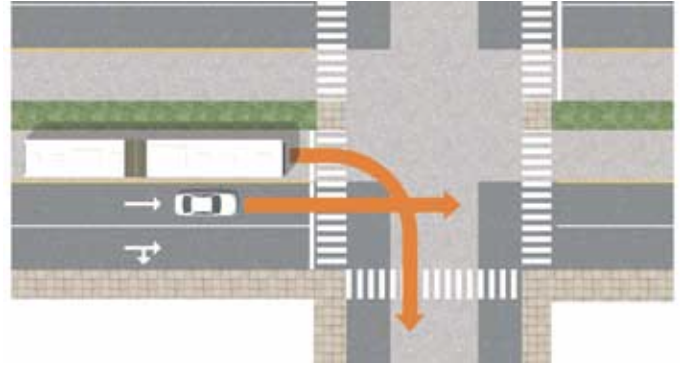


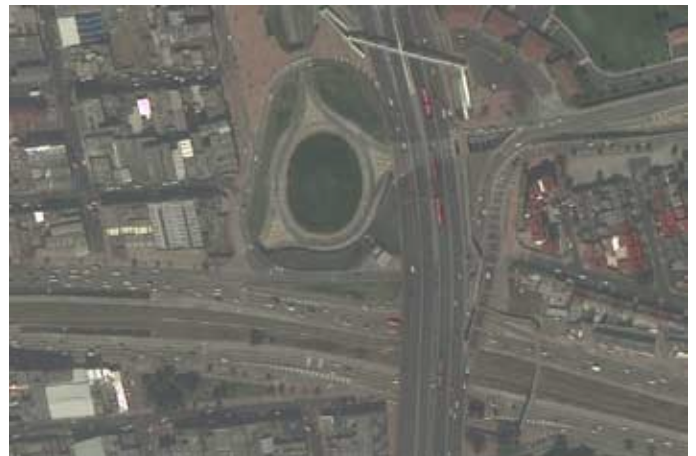
Diagrama de acidentes ilustrando o potencial conflito entre ônibus que fazem conversão à direita e veículos que continuam em frente. Este tipo de acidente tem sido relatado no Transmilenio.

OPERAÇÕES

Este tipo de transbordo permite grande flexibilidade na organização das linhas de ônibus. Oferecer aos passageiros do sistema de transporte coletivo uma conexão direta com o seu destino – em vez de forçá-los a caminhar até outra estação para fazer o transbordo – pode atrair mais usuários para o sistema BRT. Entretanto, a desvantagem é que o ponto de interseção entre dois corredores BRT pode se tornar um gargalo para a operação do sistema.

Um corredor BRT de múltiplas faixas pode ter uma capacidade máxima de 43.000 pass/h/sentido (Hidalgo e Carrigan, 2010). Neste caso, quando dois corredores se encontram numa interseção, é muito difícil atingir esta capacidade em ambos os corredores. Como os diferentes movimentos dos ônibus precisarão ter sua própria fase semafórica, a relação v/C (tempo de verde/duração do ciclo) de cada movimento será baixa.

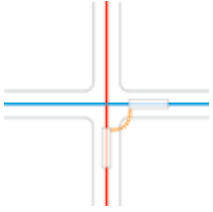
Esta situação poderia ser resolvida dando prioridade a um dos dois corredores ou a um dos movimentos dos ônibus, aumentando o tempo de verde disponível para esse movimento e diminuindo os outros. Se ambos os corredores têm alta demanda de passageiros, poderia se pensar em construir uma passarela ou um túnel para conectar ambos os corredores, como acontece na interseção entre a NQS, a Avenida Suba e a Calle 80 no TransMilenio.



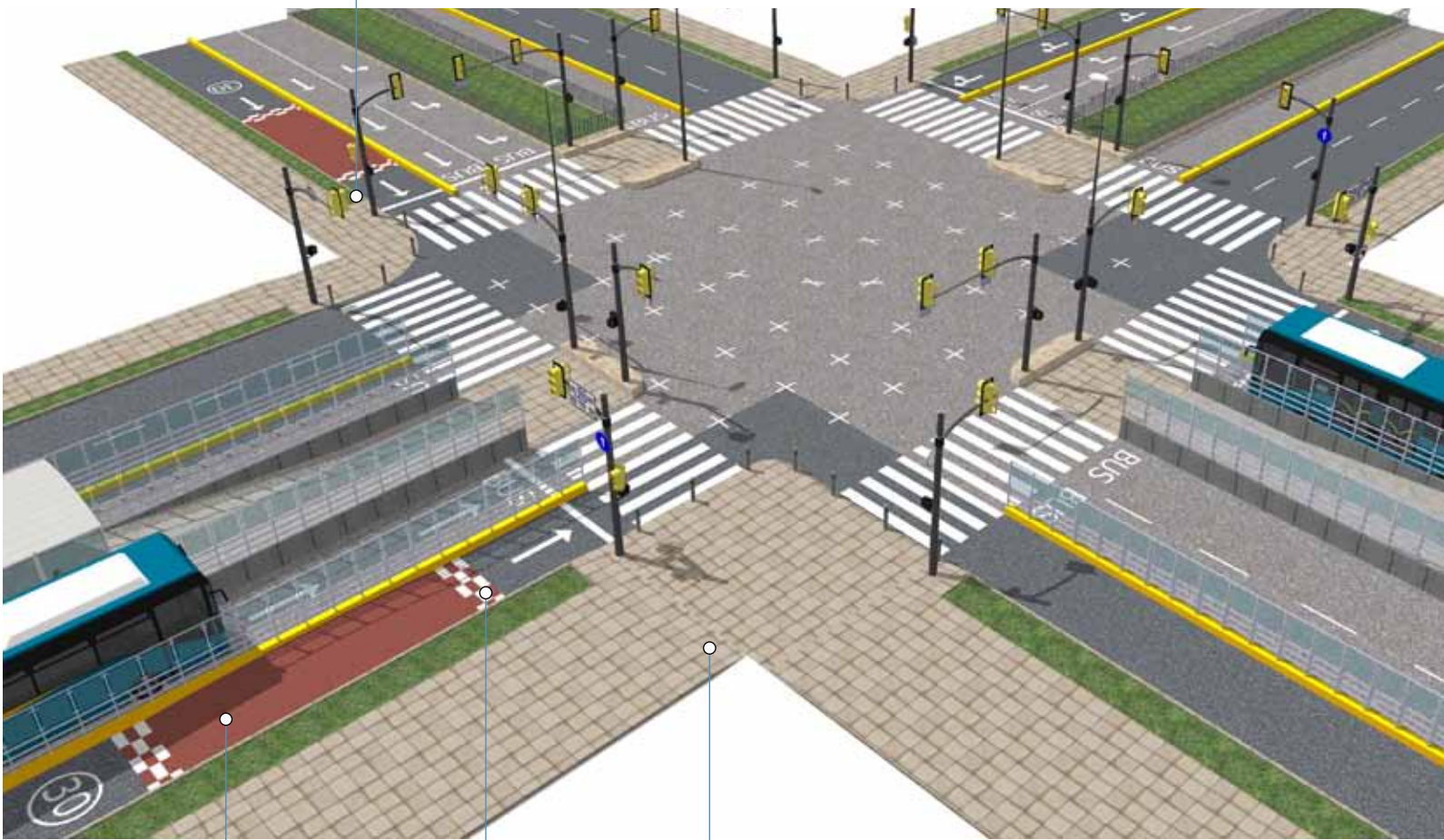
Interseção entre três corredores TransMilenio: NQS, Calle 80 e Avenida Suba. As conexões de ônibus entre os três corredores são feitas via passarelas e passagens subterrâneas que maximizam a capacidade de todos os movimentos e minimizam os conflitos potenciais entre os ônibus. Imagem do Google Earth.

TRANSBORDOS ENTRE LINHAS TRONCAIS EM UM MESMO SISTEMA

TRANSBORDO ATRAVÉS DE UMA INTERSEÇÃO



Também é possível usar uma combinação de transbordos através da interseção e conversões de ônibus. Isto é usado no caso da estação da Av. Jimenez no Transmilenio, onde alguns transbordos são feitos por ônibus que conectam os dois corredores, enquanto que outros são feitos a pé através de um túnel entre as estações. Este tipo de solução pode ajudar a reduzir o número de fases semaforicas necessárias na interseção.



Recomenda-se usar lombadas pelo menos nos dois acessos que atravessam o caminho de transbordo para pedestres.

Todos os movimentos de conversão que tiverem conflitos com o acesso de pedestres às estações devem ser proibidos. A sinalização de proibida a conversão deve ser acompanhada da informação indicativa sobre a alça que substitui a conversão à esquerda. A alça que substitui a conversão à direita deve começar antes desta interseção e não deve ser sinalizada aqui.

Pode haver alto volume de pedestres em uma interseção que apresente estas condições de integração entre estações de linhas troncais. Além do tráfego de pedestres existente, os passageiros que acessam qualquer das duas estações, assim como os passageiros que se transferem entre as duas estações, também transitam pela área da interseção. Recomenda-se retirar a faixa junto ao meio-fio em ambos os lados e aumentar a calçada para dar mais espaço para os pedestres. Uma pequena praça ou área de espera nesta esquina também funcionam bem como refúgio para pedestres.

SEGURANÇA VIÁRIA

Esta é a forma mais simples de organizar o transbordo entre linhas, mas também é a que coloca os passageiros em transbordo em maior risco. Há várias formas de mitigar este risco.

MELHORIAS DA SEGURANÇA DE PEDESTRES NA INTERSEÇÃO

Esta é a solução que ilustrada na figura acima. Uma faixa é retirada de cada um dos dois acessos que cruzam o caminho de transbordo dos passageiros e são usadas lombadas suaves para reduzir a velocidade do tráfego. Também recomenda-se não permitir nenhum movimento de conversão que possa criar conflito com os pedestres que estão se transferindo entre as duas estações.

Se houver alto volume de passageiros em transbordo, poderia se pensar em incluir uma fase semafórica exclusiva para pedestres para permitir que os passageiros atravessem entre as estações em uma única fase.

PASSARELA OU TÚNEL PARA PEDESTRES CONECTANDO AS DUAS ESTAÇÕES

Também é possível conectar as duas estações através de uma passarela ou túnel para pedestres. Isto tornaria o transbordo menos arriscado para os pedestres, trazendo também alguns benefícios operacionais. Se as estações estiverem conectadas, poderão operar como uma única estação e não haverá problemas de transbordo com passageiros que saem e entram na estação.

Este tipo de solução foi implantado na estação de transbordo da Avenida Jimenez no TransMilenio. Um túnel tem a vantagem de demandar rampas mais curtas. Ao construir uma passarela sobre as estações, é importante que esta tenha altura suficiente para permitir a passagem de ônibus e grandes caminhões. A altura de uma passarela deve ser de 4,8 metros ou mais.

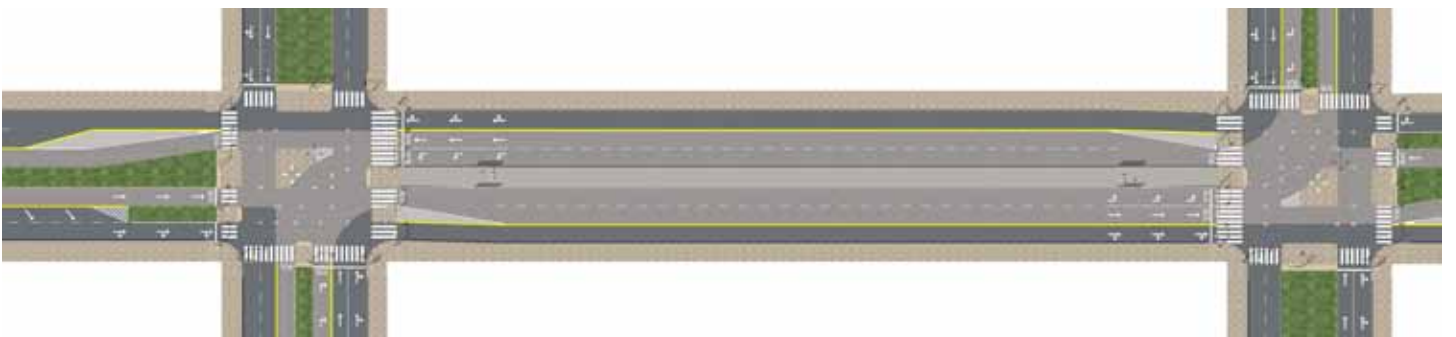
Um túnel precisa de altura suficiente apenas para uma pessoa e geralmente não precisa ser maior que 3 metros. A diferença de 1,8 metro significa que as rampas são 18 metros mais curtas, considerando uma inclinação de 10%. A opção entre uma passarela ou um túnel depende da quantidade de espaço disponível dentro da estação para acomodar a rampa e o custo de construção de uma estrutura subterrânea em comparação com uma passarela para pedestres. Outras questões a considerar no projeto de um túnel são os níveis de iluminação e segurança.

OPERAÇÕES

Sem um túnel ou uma passarela, este tipo de transbordo demanda que os passageiros saiam de uma estação e entrem na próxima. É preciso decidir como isto vai afetar a tarifa que os passageiros em transbordo pagam.

Embora isto crie alguns problemas para a cobrança de tarifa dos passageiros em transbordo e crie o risco que os passageiros em transbordo possam escolher outros modais pela dificuldade de transbordo, esta opção tem uma grande vantagem em termos de capacidade. Diferente do exemplo anterior, não haveria um gargalo, porque a capacidade da interseção seria maior que a das duas estações. Os dois corredores podem lidar com um maior volume de passageiros por faixa nesta configuração em comparação com a situação em que os transbordos são feitos por linhas diretas que se cruzam em nível.

TRANSBORDOS ENTRE LINHAS TRONCAIS EM UM MESMO SISTEMA
DESVIO EM UMA LINHA PARA GARANTIR O TRANSBORDO ENTRE PLATAFORMAS



SEGURANÇA VIÁRIA

Esta opção permite transbordos através de plataformas entre dois corredores, embora haja apenas uma única linha operando em cada corredor, tendo os benefícios de segurança da opção das linhas diretas e a simplicidade operacional de um sistema de uma única linha por corredor.

Há mais combinações possíveis. Este transbordo pode ser redesenhado de forma que alguns ônibus continuem em frente em uma linha, enquanto outros façam um desvio através da outra linha. Isto traz economia de tempo para os passageiros que continuam na mesma linha e os que fazem transbordo.

O principal problema de segurança a considerar é o desenho das interseções onde um dos corredores BRT faz o desvio. Em uma seção onde ambas as linhas compartilham a mesma via, é importante que haja faixas separadas para cada movimento de conversão na interseção para evitar atrasos. Esta é uma questão operacional, mas as implicações para a segurança são que o equilíbrio e o alinhamento de faixas devem ser mantidos para todos os movimentos na interseção. Isto é um pouco complexo e requer o uso de canteiros centrais de diferentes larguras, ilhas, sinalização horizontal hachurada, etc. O risco é que, se as interseções forem mal desenhadas, os benefícios de segurança não compensariam os dos transbordos entre plataformas.

OPERAÇÕES

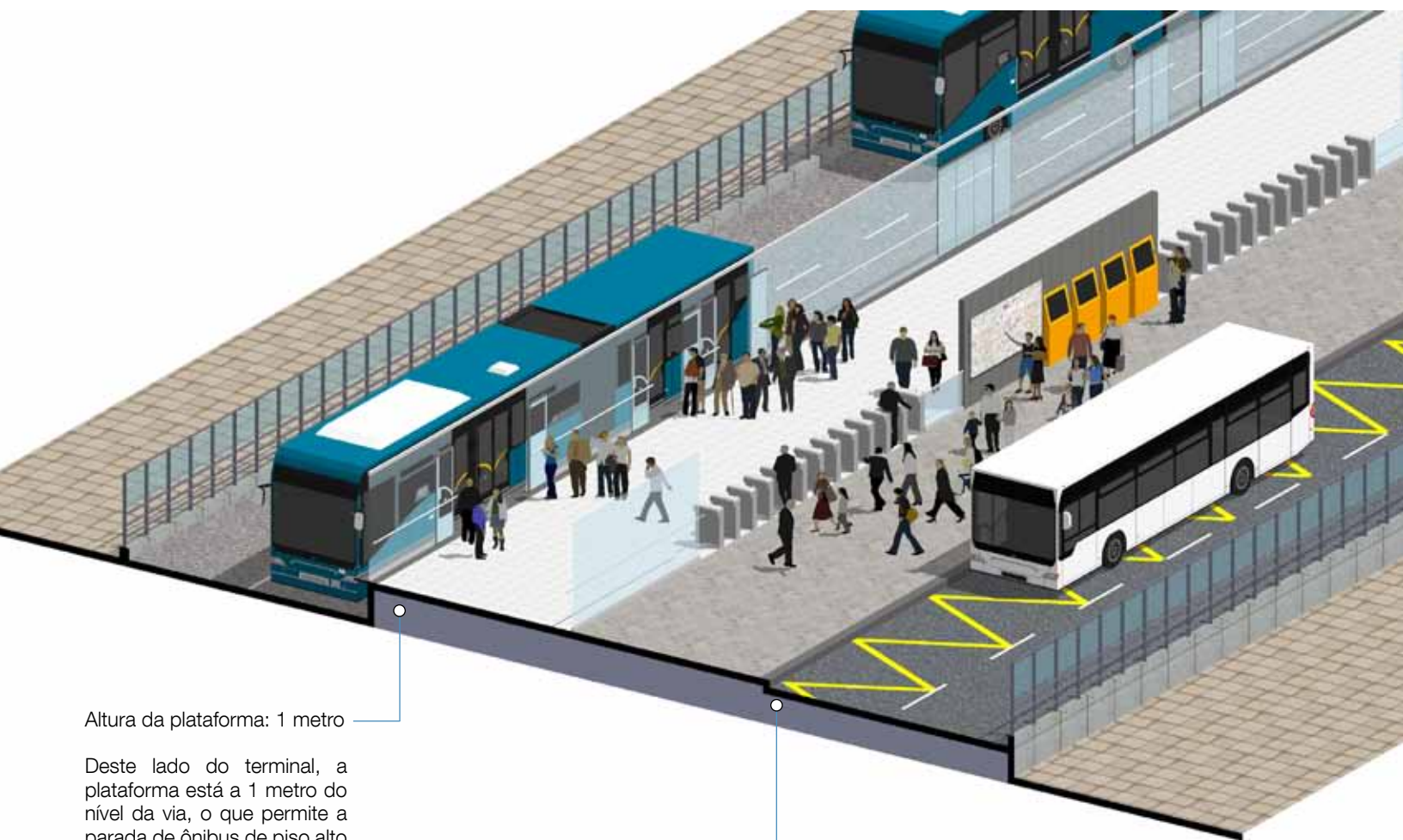
Neste tipo de transbordo, é provável que a capacidade seja limitada pela interseção, e não pela estação.

Uma característica vital do projeto para melhorar a operação neste caso é haver faixas específicas para ônibus que fazem a conversão e para os que continuam em frente nos dois corredores BRT. Estes movimentos não vão compartilhar as mesmas fases semaforicas e, se não tiverem faixas separadas, podem acabar bloqueando uns aos outros na interseção.

A interseção precisa de três fases: uma para as conversões de ônibus de um corredor para o outro e duas para o tráfego que segue em frente em cada corredor. Recomenda-se não permitir conversões à esquerda para o tráfego misto, pois isto aumentaria o número de fases semaforicas necessárias e reduziria a capacidade de ambos os corredores BRT.

TRANSBORDOS ENTRE BRT E OUTROS SERVIÇOS DE ÔNIBUS

TERMINAL INTEGRADO



Altura da plataforma: 1 metro

Deste lado do terminal, a plataforma está a 1 metro do nível da via, o que permite a parada de ônibus de piso alto e porta à esquerda.

Este lado do terminal deve ser usado por veículos BRT de piso alto. Em geral, é fechado e utiliza pré-pagamento da tarifa.

Altura da plataforma: 30 cm

As faixas de ônibus neste lado do terminal foram elevadas 70 cm acima do nível da via para que a plataforma central possa ser usada para ônibus de piso baixo neste lado.

Este lado do terminal deve ser usados por ônibus convencionais com porta à direita. Podem ser abertas e ter pagamento de tarifa a bordo, mas deve haver gradis do lado de fora do terminal, para evitar que os pedestres atravessassem as faixas de ônibus.

SEGURANÇA VIÁRIA

Esta é uma opção de transbordo muito segura para passageiros. O principal risco de segurança a considerar é o ponto de acesso para o terminal de ônibus. É importante evitar gargalos e separar claramente as diferentes direções do tráfego. O TransMilenio registrou um acidente fatal no terminal Portal de Usme quando um ônibus na linha troncal e um de uma linha alimentadora colidiram frontalmente na entrada do terminal, ferindo vários passageiros e matando um deles.

Para plataformas do terminal, o principal problema de segurança é ter largura suficiente para acomodar o volume esperado de passageiros. Se as plataformas estiverem lotadas, há o risco de que os passageiros acabem caminhando nas faixas de ônibus – especialmente no lado do terminal com plataformas baixas.



Imagens mostrando o layout típico dos terminais do TransMilenio. Acima: a parada de ônibus alimentador (ônibus convencionais) no lado esquerdo da plataforma. Abaixo: os ônibus da linha troncal (ônibus articulados) param no lado direito da mesma plataforma. Fotos EMBARQ.

TRANSBORDOS ENTRE BRT E OUTROS SERVIÇOS DE ÔNIBUS

TERMINAL INTEGRADO: PONTOS DE ACESSO



Nas áreas centrais, muitos dos passageiros podem começar ou terminar suas viagens no terminal e não fazem transbordo para outras linhas. Os pontos de acesso de pedestres devem ser capazes de acomodar o volume esperado de passageiros por ciclo semafórico.



Área de pedestres lotada na saída da estação da Calle 72 do TransMilenio.



SEGURANÇA VIÁRIA

O desenho dos pontos de acesso ao terminal deve ter como objetivo minimizar conflitos entre os diferentes ônibus e também assegurar o acesso seguro de pedestres.

A imagem acima mostra uma possível solução de projeto para um dos contextos mais difíceis de terminal: um terminal na área central, com acesso em nível para ônibus e para pedestres. Os conflitos entre ônibus são solucionados permitindo que os ônibus das linhas troncais e alimentadoras entrem no terminal em diferentes fases semaforizadas. Há amplo espaço de espera para pedestres e travessias largas. Entretanto, recomenda-se enfaticamente que os pedestres tenham acesso ao terminal através de túnel ou de passarela a fim de eliminar conflitos entre pedestres e ônibus.

OPERAÇÕES

A capacidade desta interseção seria um pouco mais alta que a capacidade prática do sistema, o que significa que não seria um gargalo. No entanto, é provável que esta configuração leve a longos tempos de espera de pedestres e à probabilidade de que os pedestres atravessassem no vermelho. Isto pode ser solucionado dando aos pedestres acesso por túnel ou passarela.

EXEMPLOS DE CONFIGURAÇÕES DE TERMINAL



PORTAL DEL NORTE, TRANSMILENIO

Situado no canteiro central da Autopista Norte. Os ônibus têm pontos de acesso em nível diretamente da via expressa e os pedestres têm acesso ao terminal através de uma passarela. Duas plataformas paralelas, com paradas de linhas troncais e alimentadoras em ambos os lados de cada plataforma. Os pontos de acesso dos ônibus para o terminal não são semaforizados e dependem da passagem dada pelos motoristas. Imagem do Google Earth.



PORTAL TUNAL, TRANSMILENIO

Situado ao lado de uma via urbana arterial, com acesso em nível dos ônibus e passarela para pedestres. Tem uma única plataforma, com ônibus parando em ambos os lados. Imagem do Google Earth.

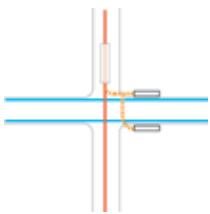


PORTAL DEL SUR, TRANSMILENIO

Este é o melhor layout tanto em termos de segurança como de operações, embora seja consideravelmente mais caro: localizado imediatamente ao lado de uma via expressa, é acessado por ônibus de ambas as direções através de elevadas. Isto elimina muitos dos conflitos das outras duas configurações mostradas acima. Imagem do Google Earth.

TRANSBORDOS ENTRE BRT E OUTROS SERVIÇOS DE ÔNIBUS

TRANSBORDOS PARA SERVIÇOS CONVENCIONAIS DE ÔNIBUS EM UMA INTERSEÇÃO



SEGURANÇA VIÁRIA

Este tipo de transbordo geralmente ocorre entre serviços de ônibus que não são operados pelo mesmo órgão. É sempre difícil coordenar transbordos nestes casos, mas a principal questão nestas situações é minimizar a distância a pé para a transbordo de passageiros e tornar o caminho do transbordo o mais seguro possível.

A estação deve estar localizada o mais próximo possível da interseção com os outros serviços de ônibus.

Recomenda-se não permitir conversões de qualquer tipo nesta interseção que possa provocar conflito com o caminho de passageiros em transbordo. A travessia ao longo do canteiro central, mostrada anteriormente em outros projetos de estação BRT, é especialmente importante aqui. Se os serviços locais de ônibus têm intervalos de

passagem longos, há o risco de que os passageiros em transbordo que deixam a estação BRT atravessem no vermelho a fim de tomar o seu ônibus.

Fornecer uma travessia no canteiro central dá aos passageiros a oportunidade de atravessar durante ambas as fases semafóricas.



SEGURANÇA VIÁRIA

Este conceito de projeto ilustra uma possível forma de integrar um corredor BRT com uma rede de ciclovias sem fornecer infraestrutura para ciclistas no próprio corredor. Neste caso, a via transversal tem ciclovias e estacionamento para bicicletas em todas as quatro aproximações da interseção. Os ciclistas que acessam a estação BRT podem deixar sua bicicleta em um dos pontos de estacionamento e depois atravessar a pé para a estação.

A conversão à direita a partir da via transversal, que entra em conflito com o acesso de pedestres à estação, é proibida. Observa-se que as ciclovias estão colocadas em uma transversal secundária de apenas um sentido e não em uma via arterial.

Se houver estacionamento na via transversal, recomenda-se colocar a ciclovia entre a fila de estacionamento e a calçada, com uma pequena zona de segurança (um separador físico ou canteiro central) para proteger os ciclistas quando os motoristas abrirem as portas dos veículos estacionados.

COLETA DE DADOS

Não se encontravam disponíveis ao público, de forma estruturada, os dados de acidentes em corredores BRT e de ônibus em nenhuma das cidades pesquisadas para o estudo. Por isso, foram compilados dados de acidentes de cada cidade utilizando diferentes fontes locais disponíveis. Nas cidades brasileiras, os dados de acidentes foram fornecidos pelos órgãos municipais de trânsito e transporte. No México, as informações foram fornecidas pela Secretaria de Transporte do Estado de Jalisco e pela Prefeitura da Cidade do México. Obtiveram-se dados das cidades colombianas através do Ministério de Transportes e das cidades da Índia, dos órgãos policiais locais.

Todos os conjuntos de dados contêm informações detalhadas sobre todos os eventos que ocorreram em cada corredor por um período que varia de três a sete anos, dependendo da cidade.

METODOLOGIA DO ESTUDO

O principal componente de avaliação foi a análise de dados de acidentes. Devido às consideráveis diferenças nos padrões de relato de acidentes, inclusive nas definições do que é um acidente ou um ferido, não foi possível fazer comparações relevantes entre cidades. Por isso, a análise foi estruturada em estudos de caso, onde cada estudo de caso representa uma cidade. Para cada cidade, analisaram-se os dados de acidentes de diferentes sistemas de ônibus com o objetivo de determinar quais os fatores que influenciam o número de acidentes (p. ex., comprimento das travessias de pedestre ou a presença de canteiro central). O passo seguinte foi confirmar ou rejeitar os resultados de um estudo de caso aplicando a mesma metodologia para outras cidades. Para as mesmas características de projeto, como o número de acessos por interseção, conseguiu-se obter resultados altamente significativos e consistentes em diversos estudos de casos. Para outras características, como o número de conversões à esquerda permitidas em cada interseção, os resultados não foram tão consistentes.

Foram desenvolvidos modelos de frequência de acidentes para explicar as diferenças nas taxas de acidente em diferentes locais, usando fatores como geometria da via e da interseção, projeto do sistema de ônibus e uso do solo, depois de controlar a exposição, isto é, número de veículos ou de pedestres.

Os dados de acidentes são dados de contagem, que geralmente são melhor representados pela distribuição de Poisson (Ladron de Guevara et al., 2004). No entanto, estudos anteriores observaram que os dados de acidentes também são excessivamente dispersos (isto é, a variância

é muito maior que a média) e, portanto, são melhor representados pela distribuição binomial negativa que, diferente da de Poisson, permite que a variância seja diferente da média (Dumbaugh e Rae, 2009; Viola et al., 2010). Por esta razão, a distribuição binomial negativa (BN) é a distribuição de probabilidade preferível para modelar a frequência de acidentes na maioria dos casos (Ladron de Guevara et al., 2004; Dumbaugh e Rae, 2009). Na maioria dos modelos, foram utilizadas regressões BN, exceto para o modelo de atropelamentos de Guadalajara, onde a variável dependente não teve dispersão suficiente e, por isso, foi usada regressão de Poisson.

Uma decisão importante foi relativa à escala na qual desenvolver os modelos. Estudos anteriores desenvolveram modelos de frequência de acidentes em escalas muito diferentes: desde modelos de interseções (Almonte e Abdel-Aty, 2010), passando por modelos de bairros (Dumbaugh e Rae, 2009), até modelos de acidentes por código postal (Viola et al. 2010). Como o objetivo era conhecer o impacto detalhado das opções de projeto sobre os acidentes, usamos a menor escala possível: interseções ou segmentos de via.

Esta escolha também foi influenciada pela estrutura do conjunto de dados, especialmente pela forma como os locais eram relatados. Na maioria das cidades da amostra, exceto por algumas cidades brasileiras, os locais dos acidentes eram relatados listando a via principal onde o acidente ocorreu e depois listando a via transversal mais próxima. Portanto, os acidentes foram agrupados pela interseção mais próxima ao local onde ocorreram os acidentes e não foi possível separar acidentes na interseção daqueles em meio de quadra.

Conseqüentemente, cada observação do conjunto de dados corresponde a uma interseção mais os acessos que levam à interseção ao longo da via principal. Como não se pode separar os acidentes na interseção dos que ocorreram em meio de quadra, decidiu-se criar variáveis específicas para as características da interseção e do desenho viário, de forma a separar seu impacto sobre os acidentes.

VARIÁVEIS

Além das variáveis de projeto da via e da interseção, da exposição e uso do solo, foram criadas quatro variáveis binárias para o sistemas de ônibus com base nos tipos de corredores de ônibus presentes na base de dados: BRT de faixa central, corredor de ônibus de faixa central, faixas de contrafluxo e faixas de ônibus prioritárias.

TABELA A1 Resultados dos modelos de frequência de acidentes com veículos e atropelamentos, Cidade do México

| | Acidentes veículos (BN) | Atropelamentos (BN) |
|--|-------------------------|---------------------|
| | Coefficiente | Coefficiente |
| Constante | -1.518*** | -1.857*** |
| Número de aproximações | 0.374*** | 0.252*** |
| N. de faixas por aproximação | 0.374*** | 0.341*** |
| Conversão à esquerda por aproximação | 1.705*** | 1.268** |
| Área de comércio | - | 0.664*** |
| Distância máxima da travessia de pedestres (m) | - | 0.026** |
| Passarela de pedestres | - | -0.147 |
| BRT em faixa central (Linha 1 do Metrobús) | -0.029 | -0.299 |
| Faixa de ônibus no contrafluxo | 0.554*** | 0.389** |
| Faixa de ônibus junto ao meio-fio | -0.176 | -0.087 |
| N. de observações | 216 | 216 |
| Log likelihood | -618.475 | -518.539 |
| LR chi2 | 139.99 | 104.88 |
| Prob > chi2 | 0.000 | 0.000 |
| chibar2(01) | 367.14 | 231.39 |
| Prob >=chibar2 | 0.000 | 0.000 |

*** p<=0.001, ** p<=0.05, * p<=0.1, - variável não incluída no modelo

TABELA A1 Resultados dos modelos de frequência de acidentes com veículos e atropelamentos, Guadalajara

| | Acidentes veículos (BN) | Atropelamentos (Poisson) |
|--|-------------------------|--------------------------|
| | Coefficiente | Coefficiente |
| Constante | -0.266 | -2.822*** |
| Número de aproximações | 0.392*** | 0.204** |
| N. de faixas por aproximação | 0.408*** | - |
| Canteiro central | -0.146* | -0.488** |
| Alinhamento ruim das faixas | - | 0.527** |
| Área de comércio | - | 2.989*** |
| Hipermercados | 0.344* | - |
| Distância máxima da travessia de pedestres (m) | - | 0.047** |
| Interseção principal em T | 0.754*** | - |
| Rua transversal continua através | 0.570*** | - |
| Faixa de ônibus junto ao meio-fio | 0.942*** | 1.262*** |
| N. de observações | 164 | 164 |
| Log likelihood | -708.075 | -164.481 |
| LR chi2 | 231.84 | 117.5 |
| Prob > chi2 | 0.000 | 0.000 |
| chibar2(01) | 1111.59 | n/a |
| Prob >=chibar2 | 0.000 | n/a |

*** p<=0.001, ** p<=0.05, * p<=0.1, - variável não incluída no modelo

RESULTADOS (CONTINUAÇÃO)

TABELA A3 Resultados dos modelos de frequência de acidentes com veículos, Porto Alegre*

| | Acidentes veículos (NB) |
|--------------------------------------|-------------------------|
| | Coefficiente |
| Constante | -2.877*** |
| Número de aproximações | 1.001*** |
| N. de faixas por aproximação | 0.662*** |
| Conversão à esquerda por aproximação | 0.888** |
| Canteiro central | -0.592** |
| Faixa de ônibus central | 0.039 |
| Faixa de ônibus no contrafluxo | 0.740** |
| N. de observações | 183 |
| Log likelihood | -684.777 |
| LR chi2(6) | 187.2 |
| Prob > chi2 | 0.000 |
| chibar2(01) | 1599.3 |
| Prob >=chibar2 | 0.000 |

*** $p <= 0.001$, ** $p <= 0.05$, * não houve dados suficientes para desenvolver um modelo para acidentes com pedestres

TABELA A4 Resultados dos modelos de frequência de acidentes com veículos e atropelamentos, Bogotá

| | Acidentes veículos (NB) | Atropelamentos (NB) |
|--|-------------------------|---------------------|
| | Coefficiente | Coefficiente |
| Constante | -0.336 | -3.220*** |
| Número de aproximações | 0.467*** | 0.616** |
| N. de faixas por aproximação | 0.250*** | - |
| Distância máxima da travessia de pedestres (m) | - | 0.056** |
| Passarela de pedestres | - | -1.977** |
| Interseção principal em T | 0.533** | - |
| Via arterial urbana | -0.082 | 0.699** |
| BRT em faixa central (TransMilenio) | -0.218 | -0.102 |
| Estação TransMilenio | - | -0.360 |
| N. de observações | 127 | 124 |
| Log likelihood | -421.663 | -207.063 |
| LR chi2 | 51.41 | 23.82 |
| Prob > chi2 | 0.000 | 0.000 |
| chibar2(01) | 395.22 | 55.22 |
| Prob >=chibar2 | 0.000 | 0.000 |

*** $p <= 0.001$, ** $p <= 0.05$, - variável não incluída no modelo

IMPACTO DO PROJETO DA VIA E DAS INTERSEÇÕES SOBRE A FREQUÊNCIA DE ACIDENTES

Como a maioria dos acidentes em corredores BRT ocorre nas faixas de tráfego misto, esperava-se que o projeto geral das vias fosse o principal preditor da frequência de acidentes, independente da configuração do sistema de ônibus. Os resultados do modelo confirmaram isso, indicando que a largura da via, assim como o tamanho e a complexidade da interseção foram os indicadores mais importantes das taxas de acidente.

O número de aproximações por interseção é um dos principais problemas, junto com o número de faixas por aproximação e o comprimento máximo da travessia de pedestres. As interseções onde é permitido que o tráfego das vias transversais cruze o corredor de ônibus são mais perigosas que as interseções em que apenas a conversão à direita é permitida (Tabela A2). Em outras palavras, transformar uma interseção de 4 aproximações em duas interseções em T, continuando o canteiro central na via principal, deve aumentar a segurança. Isto sugere que algumas das interseções com vias secundárias ao longo de um corredor de faixa central podem ser transformados em interseções em T.

IMPACTO DA CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA DE ÔNIBUS SOBRE A FREQUÊNCIA DE ACIDENTES

Foi verificado que as faixas de ônibus em contrafluxo na Cidade do México e Porto Alegre foram significativamente correlacionadas com taxas mais altas de colisões de veículos e atropelamentos (Tabelas A1 e A3). A consistência dos resultados nos diferentes modelos sugere que as faixas no contrafluxo são a configuração mais perigosa para sistemas de ônibus, de todas as incluídas neste estudo. Isto também foi confirmado pela análise de dados das cidades onde não se conseguiu desenvolver modelos estatísticos. Por exemplo, em uma seção do Eixo Sul, em Curitiba, em que há uma faixa no contrafluxo, verificou-se que esta apresenta um registro de quatro vezes mais acidentes por faixa-km que o restante do Eixo Sul, onde há faixa central e não há contrafluxo.

Também foi verificado que as faixas de ônibus junto ao meio-fio em Guadalajara aumentaram as taxas de colisões de veículos e de atropelamentos, enquanto que na Cidade do México não tiveram impacto estatisticamente significativo sobre a frequência de acidentes (Tabelas A1 e A2). Embora os resultados não sejam sempre significativos, geralmente tendem a indicar que as faixas junto ao meio-fio são mais problemáticas, mas não tanto quanto as faixas no contrafluxo.

Avaliar o impacto sobre a segurança em sistemas de faixa central é um pouco mais complexo, porque as alterações introduzidas por um BRT de faixa central em uma via são medidas por diversas variáveis. Diferente dos corredores de ônibus junto ao meio-fio, que geralmente substituem apenas

uma faixa de tráfego (ou estacionamento) por uma faixa de ônibus, os sistemas de faixa central implicam em uma reconfiguração mais significativa da via. Tipicamente, envolve a introdução de um canteiro central em substituição a uma faixa de tráfego, encurtando a distância de travessia do pedestre ao criar um refúgio para este no centro da via, além de mais interseções em T e menos interseções de 4 aproximações ao longo do corredor. Enquanto que a variável que leva em conta a presença do BRT de faixa central na Cidade do México não foi significativa, as variáveis que levam em conta o número de faixas, canteiro central, comprimento da travessia e número de aproximações foram todas correlacionadas com menores taxas de acidentes e foram significativas nos diferentes modelos (Tabelas A1, A2, A3, e A4).

Conclui-se que os sistemas de faixa central têm maior probabilidade de ter mais benefícios de segurança viária que os sistemas junto ao meio-fio devido às alterações que introduzem na configuração geral da via. Os dados dos acidentes não eram o suficientemente detalhados para permitir explorar que tipos de acidentes poderiam ser mais frequentes em corredores de ônibus junto à calçada em comparação aos de faixa central.

Porém, as inspeções de segurança viária permitiram ter maior conhecimento sobre esta questão. Uma observação comum nas inspeções foi que as faixas de ônibus junto ao meio-fio introduzem mais conflitos ao sistema viário que as faixas centrais. Em particular, os veículos que fazem conversão à direita precisam sempre cruzar as faixas de ônibus, aumentando a probabilidade de colisão com um ônibus que segue reto. Da mesma forma, as conversões à esquerda são problemáticas nos sistemas de faixa central, mas é mais fácil eliminar a conversão à esquerda e substituí-la por uma alça do que eliminar todas as conversões à direita em uma via. Além disso, foi observado que os ciclistas usam as faixas exclusivas de ônibus e este tipo de comportamento foi mais comum em faixas junto ao meio-fio.

IMPACTO DO USO DO SOLO AO LONGO DOS CORREDORES SOBRE A FREQUÊNCIA DE ACIDENTES

A presença de grandes áreas de comércio próximas ao corredor foi um dos preditores mais potentes de atropelamentos na Cidade do México e em Guadalajara (Tabelas A1 e A2). Isto não se deve apenas ao alto volume de pedestres, mas também aos riscos adicionais da configuração desta áreas. Na área do mercado Merced na Cidade do México, por exemplo, os vendedores frequentemente ocupam todo ou a maior parte do espaço das calçadas, restando uma capacidade insuficiente para os volumes existentes de pedestres e forçando alguns deles a caminharem nas faixas de tráfego. A presença de quiosques nas calçadas também reduz a visibilidade dos motoristas, dificultando a percepção da existência de entradas de carro, entradas para estacionamentos ou pedestres que estão tentando atravessar a via.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi financiada com o apoio da Bloomberg Philanthropies.

Os autores gostariam de agradecer a todos aqueles que participaram da coleta e da análise de dados, assim como àqueles que compartilharam seus conhecimentos, fizeram comentários ou participaram das inspeções locais.

Rebecca Jaffe, que contribuiu para a coleta e análise dos dados de Porto Alegre, Cidade do México e Bogotá.

Saúl Alveano Aguerrebere, Marco Tulio Priego Adriano e Yorgos Voukas, da EMBARQ México, que coordenaram a coleta de dados do sistema BRT Metrobús, na Cidade do México, e do corredor BRT Macrobús, em Guadalajara. Jesús Alberto Leyva Gutierrez e Diego Monraz Villaseñor da Secretaría de Vialidad y Transporte de Jalisco, que forneceram dados de acidentes na área metropolitana de Guadalajara, e Joel Ivan Zúñiga Gosálvez da EPS (Estudios, Proyectos y Señalización Vial S.A. de C.V.), que compartilharam dados de tráfego da cidade de Guadalajara.

Jorge Coxtinica Aguilar, Diretor de Operações do Metrobús, na Cidade do México, junto com o Diretor Técnico Jorge Casahonda Zentella e David Escalante Sánchez, que se encontraram com a equipe da EMBARQ e compartilharam suas experiências sobre acidentes no sistema Metrobús.

Mario Valbuena, Diretor de Operações, junto com o Diretor de Segurança Carlos Gutierrez, assim como Martín Salamanca e Jaison Lucumí da TRANSMILENIO S.A., que compartilharam sua base de dados de acidentes no sistema TransMilenio, de Bogotá, e acompanharam a equipe da EMBARQ na inspeção de um corredor do TransMilenio. Myriam Haidee Carvajal Lopez e Beatriz Elena Jurado Flóres, do Ministério de Transportes da Colômbia, que deram acesso às informações da base de dados federal de segurança viária, incluindo as cidades de Bogotá, Cali e Pereira.

Brenda Medeiros e Marta Obelheiro, da EMBARQ Brasil, que coordenaram a coleta de dados nas cidades brasileiras. A Empresa Pública de Transporte e Circulação (EPTC) e a Matricial Engenharia Consultiva Ltda, que forneceram dados de acidentes e tráfego da cidade de Porto Alegre. A Urbanização de Curitiba S.A. (URBS), que disponibilizou dados de acidentes dos corredores BRT de Curitiba. A Empresa de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte S.A. (BHTRANS), a Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (CET-SP) e a Companhia de Engenharia de Tráfego do Rio de Janeiro (CET-Rio), que forneceram dados de acidentes de seus corredores de ônibus.

Madhav Pai e Binoy Mascarenhas da EMBARQ Índia, que coordenaram a coleta de dados nas cidades da Índia, incluindo os corredores BRT de Delhi e o BRT Janmarg de Ahmedabad.

Judy Raski, da Insurance Corporation of British Colombia (ICBC), que compartilhou um conjunto de dados de acidentes da cidade de Vancouver, incluindo as faixas de ônibus exclusivas das Rotas 97 e 99 do TransLink.

Rob McInerney, do International Road Assessment Programme (iRAP), que forneceu dados de atropelamentos da Southeast Busway de Brisbane, Queensland, Austrália.

Ricardo Rivera Salas e Vladimir Americo García Valverde, do Instituto Metropolitano Protransporte de Lima, que compartilharam a base de dados de acidentes do BRT Metropolitano de Lima.

Os autores também gostariam de agradecer os valiosos comentários de Fred Wegman e Jacques Commandeur (SWOV – The Dutch National Institute for Road Safety Research), Steve Lawson (iRAP), Tony Bliss, Sam Zimmerman, e Said Dahdah (Banco Mundial), Gerhard Menckhoff (Institute for Transportation and Development Policy), Juan Carlos Muñoz Abogabir e Luis Ignacio Rizzi (Pontificia Universidad Católica de Chile), Alexandra Rojas e Claudia Puentes (Fondo de Prevencion Vial de Colombia), Holger Dalkmann, Clayton Lane, Benjamin Welle, Aileen Carrigan, Aaron Minnick, Heshuang Zeng e Katherine Filardo (EMBARQ), Janet Ranganathan e David Tomberlin (World Resources Institute).

- Almonte, A.M., M.A. Abdel-Aty. *Exploring the Level of Service and Traffic Safety Relationship at Signalized Intersections*. Institute of Transportation Engineers Journal, vol. 80, no. 6, June 2010.
- CERTU. *Bus à haut niveau de service : du choix du système à sa mise en œuvre*. Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme, et les constructions publiques, Lyon, 2009.
- Chias Becerril L., A. Cervantes Trejo. *Diagnóstico Espacial de los Accidentes de Tránsito en el Distrito Federal*. Secretaría de Salud, Mexico City, 2008.
- Dumbaugh, E., R. Rae. *Safe Urban Form: Revisiting the Relationship Between Community Design and Traffic Safety*. Journal of the American Planning Association, 75: 3, 309-329, 2009.
- Diogenes, M.C., L.A. Lindau. *Evaluating Pedestrian Safety at Midblock Crossings in Porto Alegre, Brazil*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, no. 2193, pp.37-43, 2009.
- Duduta, N., C. Adriaola, D. Hidalgo, L.A. Lindau, R. Jaffe. *Understanding the Road Safety Impact of High Performance BRT and Busway Design Features*. Transportation Research Record, forthcoming 2012.
- EMBARQ. *Bus Karo. A Guidebook on Bus Planning and Operations*. EMBARQ Center for Sustainable Transport, Mumbai, 2011.
- FTA. *Characteristics of Bus Rapid Transit for Decision-Making*. Federal Transit Administration, Washington DC. 2004.
- Gardner, G., P. Cornwell, J. Cracknell. *The Performance of Busway Transit in Developing Countries*. TRRL Research Report 329, Crowthorne UK, 1991.
- Hidalgo, D., A. Carrigan. *Modernizing Public Transportation. Lessons learned from major bus improvements in Latin America and Asia*. World Resources Institute Report. Washington DC, 2010.
- Hidalgo D., G. Lleras, E. Hernandez. *Passenger Capacity in Bus Rapid Transit Systems - Formula Development and Application to the TransMilenio System in Bogota, Colombia*, presented at Thredbo 12 Conference, Durban, 2011
- Ladrón de Guevara, F., S.P. Washington, and J. Oh. *Forecasting Crashes at the Planning Level. Simultaneous Negative Binomial Crash Model Applied in Tucson, Arizona*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1987, TRB, National Research Council, Washington D.C., pp. 191-199, 2004.
- Levinson, H., et al. *Bus Rapid Transit: Case Studies in Bus Rapid Transit*. Transit Cooperative Research Program – Report 90, Vol. I, Transportation Research Board, National Academies, Washington DC, 2003.
- Lindau, L.A., D. Hidalgo, D. Facchini. *Curitiba, the Cradle of Bus Rapid Transit*. Built Environment 36, 274-283.
- Lindau, L.A., B.M. Pereira, R.A. de Castilho, M.C. Diogenes, J.C. Herrera. *Impact of design elements on the capacity and speed of Bus Rapid Transit (BRT): the case of a single lane per direction corridor*, presented at Thredbo 12 Conference, Durban, 2011.
- NACTO. *Urban Bikeway Design Guide*. National Association of City Transportation Officials. 2011
- NTU. *Conceitos e Elementos de Custos de Sistemas BRT*. Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos, Brasília, 2010.
- Transportation Research Board. *Highway Capacity Manual 2010*. Washington DC, 2010.
- Rickert, T. *Bus Rapid Transit Accessibility Guidelines*. 2007.
- Viola, R., M. Roe, H. Shin. 2010. *The New York City Pedestrian Safety Study and Action Plan*. New York City Department of Transportation, 2010.
- Vuchic, V. *Urban Transit. Systems and Technology*. Hoboken, New Jersey: John Wiley and Sons, 2007.
- Wright, L., W. Hook, Eds. *Bus Rapid Transit Planning Guide*, 3rd edition. Institute for Transportation and Development Policy (ITDP), New York. 2007.



EMBARQ - o Centro de Transporte Sustentável do Instituto de Recursos Mundiais (WRI) - trabalha em cidades do mundo em desenvolvimento para catalisar e implementar soluções sustentáveis para os problemas da mobilidade urbana. Ao trabalhar com a EMBARQ, as cidades podem reduzir o custo, tempo, risco, e complexidade de diagnosticar problemas de transporte, bem como projetar e implementar soluções sustentáveis. A EMBARQ tem provado que o transporte sustentável em países em desenvolvimento pode ser transformado em oportunidades econômicas para os negócios de visão de futuro.

EMBARQ

10 G Street, NE,
Suite 800
Washington, DC 20002
USA
+1 (202) 729-7600

EMBARQ ANDINO

Palacio Viejo 216, Oficina 702
Arequipa, Perú
+51 54283393

EMBARQ MEXICO

Calle Belisario Dominguez #8, Planta Alta
Colonia Villa Coyoacán, C.P. 04000
Delegacion Coyoacán, México D.F.
+52 (55) 3096-5742

EMBARQ INDIA

Godrej and Boyce Premises
Gaswork Lane, Lalbaug
Parel, Mumbai 400012
+91 22 24713565

EMBARQ BRASIL

Rua Luciana de Abreu, 471/801
90570-060 Porto Alegre/RS
Brasil
+55 51 3312 6324

EMBARQ CHINA

Unit 0902, Chaowai SOHO Tower A
Yi No. 6
Chaowai Dajie, Chaoyang District
Beijing 100020, China
+86 10 5900 2566

EMBARQ TURKEY

Tersane Cad. No:104 K:5 Ozdalli Is Merkezi 34420
Karakoy, Beyoglu ISTANBUL
+90 (212) 244 74 10