

DIVERGING DIAMOND INTERCHANGE – DDI – COMO ALTERNATIVA PARA A REDUÇÃO DE CONFLITOS DE TRÁFEGO EM INTERSEÇÕES EM DESNÍVEL

Data de submissão: 05/12/2023

Data de aceite: 22/12/2023

Rone Evaldo Barbosa

Universidade Estadual de Goiás /
Ministério dos Transportes / Infra S.A.,
Brasília, Distrito Federal, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5991735511068871>

Alexandre Garcês de Araújo

Universidade Estadual de Goiás, Anápolis,
Goiás, Brasil.
<http://lattes.cnpq.br/3321527696885052>

Antonio José Rodriguez de Mattos Gobbo

Universidade de Brasília / Via Urbana /
GPO, Brasília, Distrito Federal, Brasil.
<http://lattes.cnpq.br/5267624629862498>

PALAVRAS-CHAVE: DDI; Interseção Viária; Interseção Diamante; Semáforo.

ABSTRACT: This work aims to present Diverging Diamond Interchange - DDI as an alternative to reduce traffic conflicts at unlevel signalized intersections. For this, are initially presented the various types of intersections on level and unlevel. The physical and operational characteristics of DDI are described and analyzed in comparison with other types of unlevel intersections, highlighting its advantages in terms of cost and operational benefits.

KEYWORDS: DDI; Road Intersection; Diamond Intersection; Semaphore.

RESUMO: Este trabalho tem por objetivo apresentar a *Diverging Diamond Interchange* - DDI como alternativa para a redução de conflitos de tráfego em interseções semaforizadas em desnível. Para tanto, são apresentados inicialmente os diversos tipos de interseções em nível e desnível. As características físicas e operacionais da DDI são descritas e analisadas comparativamente com outros tipos de interseções em desnível, destacando-se as suas vantagens em termos de custos e benefícios operacionais.

1 | INTRODUÇÃO

Interseção viária é a área onde a corrente principal de uma rodovia ou rua é interceptada pelos veículos provenientes de outras rodovias ou de outras ruas. As interseções têm por objetivos garantir segurança e escoamento do tráfego e evitar ou reduzir pontos de conflitos.

Neste trabalho são apresentados inicialmente os diversos tipos de

interseções e alguns conceitos fundamentais. É apresentada a seguir uma análise das interseções tipo *Diverging Diamond Interchange - DDI* como alternativa para a redução de conflitos de tráfego em interseções em desnível com alto volume de tráfego. A DDI também é referenciada na literatura técnica como *Double Crossover Diamond Interchange – DCD*.

1.1 Objetivo Geral

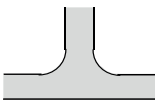
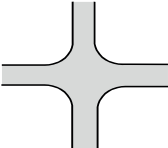
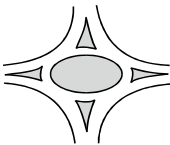
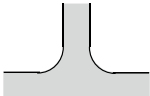
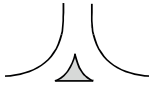

- Apresentar a DDI como alternativa para a redução de conflitos de tráfego em interseções semaforizadas em desnível.

1.2 Objetivos Específicos

- Classificar os diversos tipos de interseções;
- Apresentar as principais características da DDI;
- Fazer análise comparativa entre a DDI e outras interseções em desnível.

2 | TIPOS DE INTERSEÇÕES

As interseções podem ser classificadas como (a) interseções em nível, que são aquelas nas quais e; (b) interseções em desnível, que são aquelas nas quais as vias ou ramos se interceptam em cotas diferentes. A Figura 1 mostra os tipos de interseções em nível.

Interseções em Nível	 <p data-bbox="410 1173 563 1194">Entroncamento</p>	 <p data-bbox="633 1173 751 1194">Cruzamento</p>	 <p data-bbox="852 1173 948 1194">Rotatória</p>
Entroncamentos	 <p data-bbox="458 1390 659 1437">Em "T" para ângulos entre 75° e 105°</p>		 <p data-bbox="792 1390 992 1437">Em "Y" para ângulos menores que 75°</p>

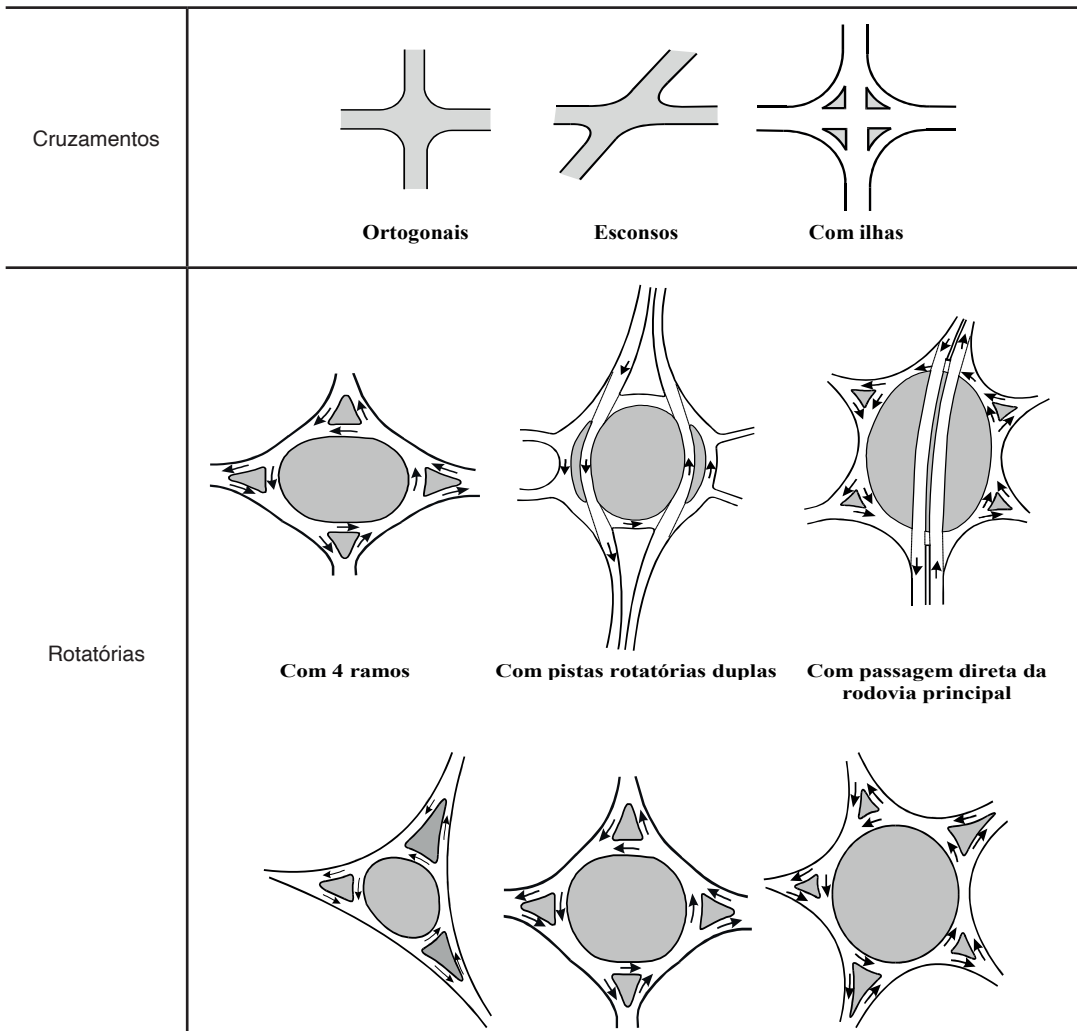


Figura 1: Tipos de interseções em nível (Fernandes Jr., 1998 *apud* Barbosa, 2011).

As interseções em desnível são dos seguintes tipos: “T” ou Trombeta (ou trompette); “Y”; Trevo Parcial; Trevo Completo; Trevo Rotatório; Direcional ou; Losangular ou Diamante (Figuras 2a e 2b).

Tipo de Interseção em Desnível	Interseção
"T" ou Trombeta (ou Trompete)	
"Y"	
Trevo Parcial (2 folhas)	
Trevo Completo	
Trevo Completo com Vias Marginais de Acesso Local	

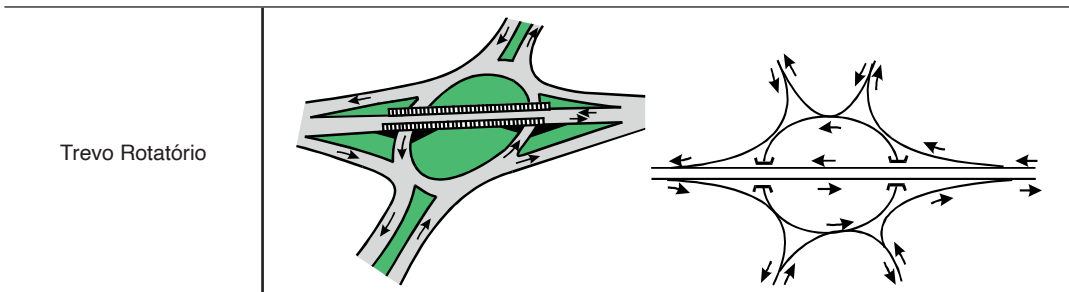


Figura 2a: Tipos de interseções em desnível (Fernandes Jr., 1998 *apud* Barbosa, 2011).

Tipo de Interseção em Desnível	Interseção
Trevo Direcional	<p>The diagram illustrates a directional interchange where traffic from one direction is directed onto an overpass that crosses over the main road, and then continues in the same direction. This design eliminates the need for a U-turn or a crossing in the opposite direction.</p>
Trevo Losangular ou Diamante	<p>The diagram shows a diamond interchange where a road crosses over a main road via a bridge. The main road continues straight through the interchange, and the crossing road has two separate bridge sections, one for each direction of travel.</p>

Figura 2b: Tipos de interseções em desnível (Fernandes Jr., 1998 *apud* Barbosa, 2011).

A interseção diamante tradicional possui a configuração de fluxos disposta na figura 2b. A seguir são apresentadas as características das interseções tipo DDI.

3 | DIVERGING DIAMOND INTERCHANGE - DDI

Também conhecida como *Double Crossover Diamond Interchange – DCD*, a *Diverging Diamond Interchange – DDI* é um modelo de interseção baseado no tipo “Diamante” com

algumas diferenças na distribuição dos fluxos e controle operacional. Consiste em facilitar as operações de conversão à esquerda, minimizando os pontos de conflito, quantitativa e qualitativamente.

De acordo com Siromaskul (2012) a *Diverging Diamond Interchange* (DDI) começou como um novo conceito implantado originalmente na Europa e está rapidamente se tornando mais comum, principalmente com os Departamentos de Transportes (DOT) dos Estados Unidos, buscando oferecer uma capacidade extra, reduzindo significativamente o espaço e muitas vezes o custo necessário para a implementação.

O conceito DDI baseia-se num padrão de interseção tipo diamante, com uma mudança no cruzamento do tráfego na interseção. Através de tráfego nos caminhos invertidos (*crossroad*) nos dois sentidos, onde o tráfego da via é deslocado para o lado esquerdo do tráfego próximo, entre as rampas, permitindo movimentos de conversão à esquerda sem cruzar tráfego circulante. Tal situação resulta em menos fases nos semáforos e maior capacidade da interseção. A figura 3 apresenta a direção do fluxo principal em um dos sentidos de circulação e a locação dos grupos semafóricos. Conforme o volume de tráfego, o repetidor localizado no acesso a partir da *freeway* para a via secundária à esquerda (destacado em verde) é dispensável. Contudo, se o este movimento for significativo será interessante colocá-lo para facilitar a travessia e garantir a segurança de pedestres.

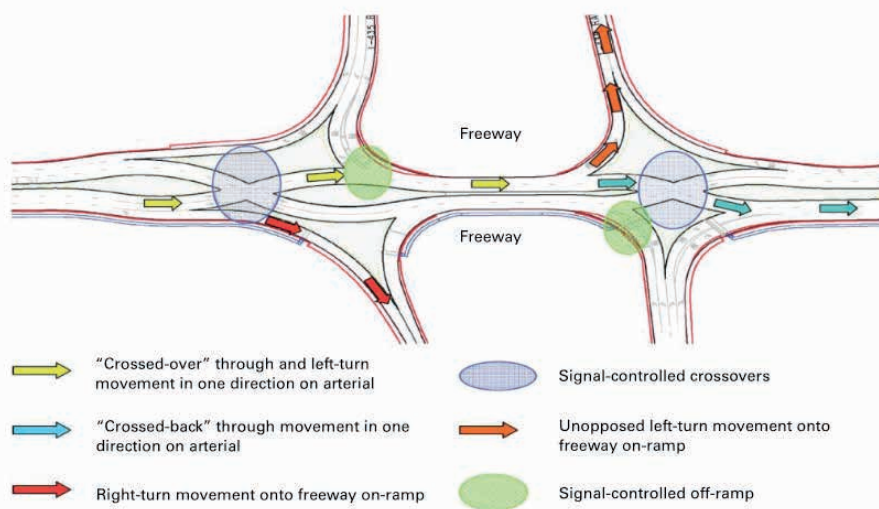


Figura 3: Movimentos e locação de semáforos na DDI (MODOT, 2011)

Os primeiros estudos identificados sobre DDI datam de abril de 2003 e foram realizados em Maryland por Gilbert Chlewicki (2003). Nos Estados Unidos, a primeira DDI foi concluída em julho de 2009, em Springfield, MO, no cruzamento da Rota 13 e I-44 (Figura 4). Vários outros projetos foram implantados posteriormente, incluindo o cruzamento da I-435 e Front Street, em Kansas City, Missouri.



Figura 4: Primeira DDI construída nos Estados Unidos (MODOT, 2013).

3.1 Projeto Geométrico

Os principais elementos do projeto geométrico de uma DDI são:

- Conversão à esquerda através de movimentos são relocados para o lado oposto da via sobre a estrutura do viaduto;
- Raios de curvatura utilizados na junção de cruzamentos estão tipicamente entre 50 e 100 metros;
- A largura média é aumentada para permitir que a transposição necessária para curvas reversas nas aproximações da interseção;
- O ângulo de inclinação entre as direções de interseção será mais próximo de perpendicular, quando possível;
- As faixas de fluxo sobre o viaduto são colocadas a montante da interseção para permitir que os movimentos de retorno na via arterial sejam livres.
- As passagens de pedestres são alocadas por meio da instalação de faixas e sinalização nos cruzamentos da interseção;
- O semáforo de duas fases é mais eficiente para pedestres, mas exige a travessia do cruzamento em dois estágios com a ilha central, que serve como um refúgio entre as fases do semáforo.

A Figura 5 mostra o diagrama de fluxo de veículos na DDI, onde os pontos de travessia de pedestres são destacados.

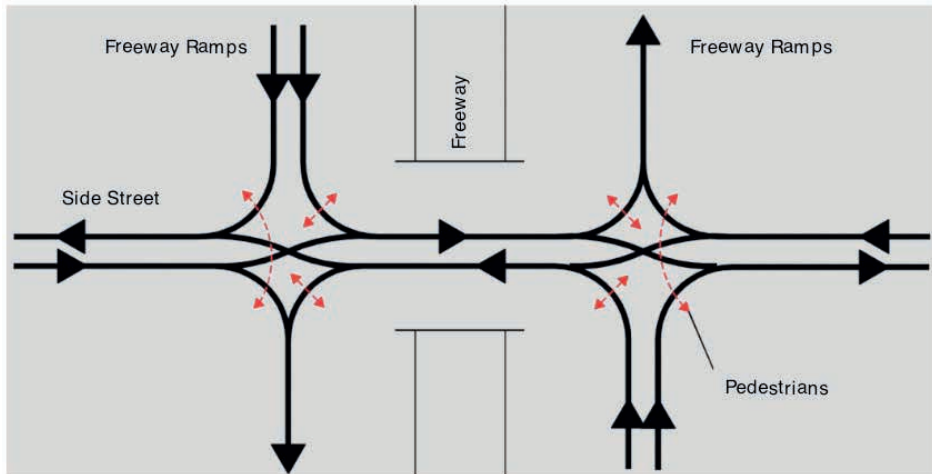


Figura 5: Pontos de travessia de pedestres na DDI (MODOT, 2013).

Os semáforos permitem uma travessia segura para os pedestres e a própria configuração geométrica da interseção e do fluxo no sentido invertido criam áreas de refúgio e proteção para o pedestre, conforme mostrado na figura 6.

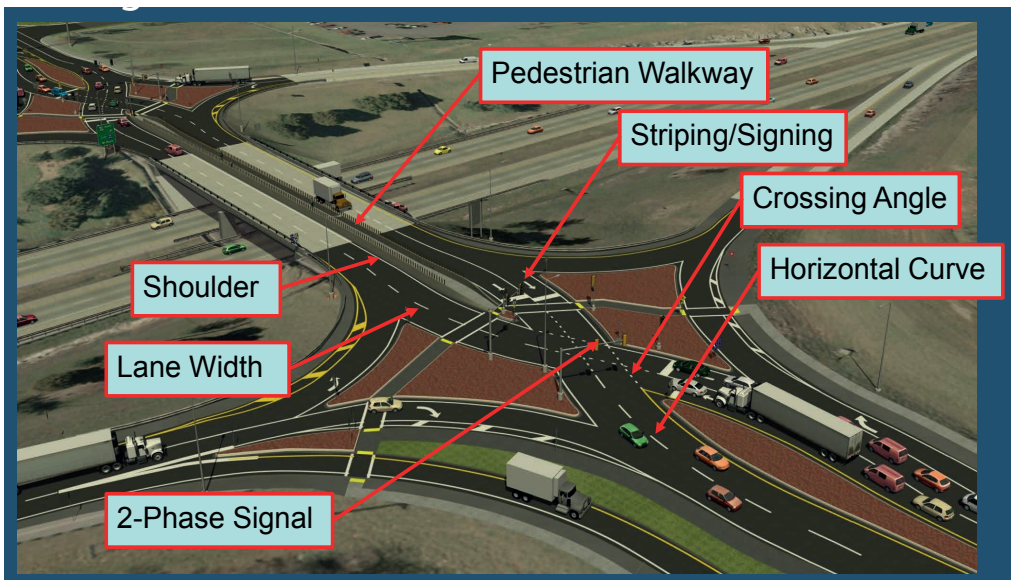


Figura 6: Caracterização da sinalização e áreas de travessia de pedestres na DDI (MODOT, 2013).

Note-se que a área entre os fluxos opostos sobre a ponte também se constitui em uma passarela de pedestres segura, em nível, protegida por barreiras de concreto.

3.2 Aplicabilidade

Quanto à sua aplicabilidade, observa-se que a DDI é recomendada para as seguintes condições de projeto:

- Elevados volumes de conversão à esquerda nos acesso da Freeway;
- Fluxo moderado e desequilibrado de volumes na ponte, nas aproximações da via arterial;
- Moderado a muito pesados fluxos de conversão à esquerda nas coletoras;
- Limitada disponibilidade de largura da plataforma da ponte/viaduto.

3.3 Segurança

De um modo geral, pode-se afirmar que a DDI é mais segura que a interseção diamante tradicional, pois tem apenas 16 pontos de conflito e dois pontos de cruzamento, em comparação a uma interseção diamante convencional, que tem 26 pontos de conflito, dentre os quais 10 são de cruzamento.

O Departamento de Transporte Missouri (MDOT, 2013) notou que a DDI também resulta em medida moderadora de tráfego, pois suas características reduzem a velocidade, mesmo aumentando a capacidade da interseção. A circulação cruzada e a disposição do fluxo em duas curvas reversas obrigam o condutor a reduzir a velocidade. Esta configuração resulta em menos acidentes e acidentes menos graves do que em um cruzamento convencional. Eles também observaram que as distâncias mais curtas nos acessos, comparado a uma interseção diamante convencional pode resultar em redução de tempos de exposição de veículos na interseção.

Outra característica notável de uma DDI é que movimentos irregulares são eliminados, pois o fluxo de veículos é realizado pelo menor caminho para o caso dos retornos. A operação pela contramão de direção teria que ser realizada transpondo-se canteiros ou ilhas centrais, além de ser realizada por caminhos mais longos, o que não torna esta operação atrativa para o usuário da via.

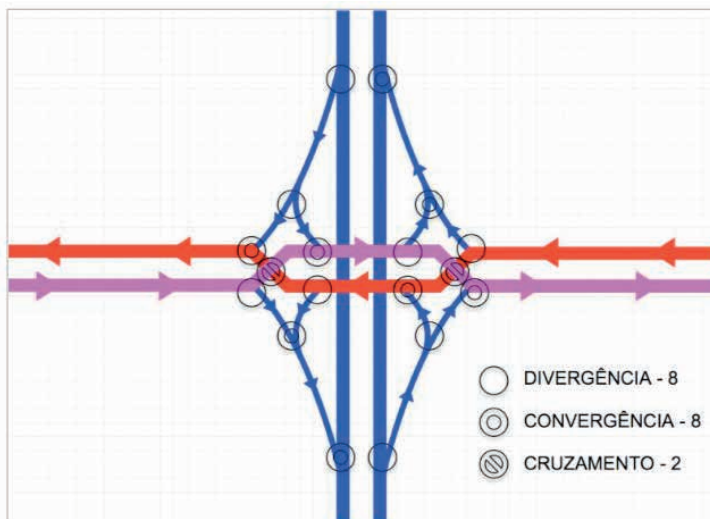


Figura 6: Pontos de conflito na DDI.

A tabela 1 mostra uma análise comparativa do número de pontos de conflito entre a DDI e as interseções tipo diamante tradicional, trevo completo e trevo rotatório. Os demais tipos foram excluídos desta análise por não permitirem movimentos em todas as direções.

Tipo	Diverging Diamond (DDI)	Standard Diamond (tradicional)	Trevo Completo	Trevo Rotatório
Divergência	8	8	8	4
Convergência	8	8	8	6
Cruzamento ou entrelaçamento	2	10	2	4
Total	18	26	18	14

Tabela 1: Comparação de pontos de conflito entre a interseção DDI e outras interseções em desnível.

Note-se a partir dos dados da tabela 1 que há uma redução significativa dos pontos de cruzamento, que são os que provocam maior número de acidentes graves, quando se compara a DDI com a diamante tradicional e o trevo rotatório, sendo mantido o mesmo número quando comparado ao trevo completo. Contudo, o cruzamento que ocorre no trevo completo é do tipo entrelaçamento, que geralmente resulta em grande quantidade de acidentes.

Quanto às características físicas, a DDI ocupará o mesmo espaço da diamante tradicional, podendo reduzi-lo, visto que os espaços destinados a travessias de pedestres são aqueles já destinados à separação ou segregação do fluxo de veículos. A DDI ocupa em média a mesma área que um trevo tradicional, enquanto o trevo rotatório demanda maior espaço devido à necessidade de grandes raios para a ilha central, além de requerer

estruturas maiores de pontes. De um modo geral, a DDI reduz espaços e, conseqüentemente, os custos de implantação.

Do ponto de vista operacional, a DDI é melhor que os demais tipos de interseção para grandes volumes de conversões à esquerda, que são realizados nas alças de acesso do trevo tradicional ou no fluxo circulante do trevo rotatório. Nos dois últimos casos há de se considerar que tais movimentos são conflitantes com fluxos preferenciais (tipo “pare” ou “dê a preferencia”), o que limita a capacidade destes acessos por depender de um *gap* (ou brecha) para o ingresso no fluxo principal.

Chlewicki (2010) realizou uma análise comparativa das características operacionais da interseção diamante tradicional e a DDI. Estes dados são apresentados na tabela 2.

Tipo	Standard Diamond (tradicional)	Diverging Diamond (DDI)
Utilização da capacidade da interseção (%)	65,2%	39,7%
Espera média por veículo (seg.)	21,1	5,0
Número de semáforos	2	2
Número de fases nos semáforos	4 ou mais	2

Tabela 2: Comparação das características operacionais entre a interseção diamante tradicional e a DDI.

Fonte: Chlewicki (2010).

Comparando-se a DDI com o modelo diamante tradicional, nota-se que há um ganho significativo de utilização da capacidade da interseção, tornando-a mais eficiente. O tempo de espera média por veículo é reduzido em mais de 4 vezes e as fases dos semáforos são reduzidas 4 ou mais para apenas 2 fases.

A tabela 3 apresenta uma comparação de custos de interseções tipo DDI com outras alternativas avaliadas para a implantação em rodovias nos Estados Unidos (Chlewicki, 2010).

Interchange	Location	DDI Cost (real or estimated)	Alternative Design Cost	Cost Savings
I-44 / Route 13	Springfield, Missoure	\$3.2 Million	Over \$10 Million	About 70%
I-435 / Front St	Kansas City, Missoure	\$6.7 Million	Diamond \$11.4 Million SPUI \$25 Million	About 75%
SR-265 / SR-62	Utica, Indiana	\$52 Million	\$118 Million	\$66 Million
I-590 / Winton Rd	Brighton, Ney York	\$3-4 Million	Triple Left Diamond \$13.6 Million	About 75%

Tabela 3: Comparação de custos entre a DDI e outras alternativas de projeto (Chlewicki, 2010).

4 | CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com as informações e análise aqui apresentados, pode-se afirmar que

a DDI oferece vantagens sobre projetos convencionais de interseções diamante com a sua operação em duas fases. Apresenta ainda vantagens quando comparada ao trevo completo ou trevo rotatório.

Estrutura do viaduto pode ser mais estreita, ocupando menos espaço e, conseqüentemente, apresenta menor custo de implantação. Considerando-se a maior eficiência operacional, este custo também será reduzido, representando o ganho significativo com o tempo.

Dentre os benefícios operacionais, a DDI melhora a eficiência do conjunto semafórico, reduz os pontos de conflito, aumenta a capacidade da interseção, reduz atraso veicular, diminuiu a velocidade de transposição e, como os veículos passam menos tempo parados com motores ligados, reduz os impactos ambientais resultantes das emissões veiculares.

É importante destacar que a DDI não é a solução para todos os conflitos de tráfego ou qualquer situação onde seja necessária a transposição em desnível. Deverão ser avaliados todos os aspectos físicos e operacionais da situação atual e comparar com outras alternativas de projeto, inclusive em termos de custos de implantação e custos operacionais. Recomenda-se utilizar microssimulações de tráfego para melhor visualização, análise e seleção de alternativas.

Os benefícios aqui destacados demonstram uma grande possibilidade de utilização desse dispositivo para a redução dos pontos de conflito, bem como as melhorias operacionais da interseção. Assim, é necessário a disseminação do modelo *Diverging Diamond Interchange*, para que os órgãos responsáveis pela infraestrutura viária possam adotá-la como alternativa de projeto.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, R. E. **Engenharia de Tráfego – Notas de Aula**. Anápolis/GO: UnUCET/UEG - Universidade Estadual de Goiás, 2011.

BARED, J.G.; EDARA, P.K.; JAGANNATHAN, R. (2005). ***Design and Operational Performance of Double Crossover Intersection and Diverging Diamond Interchange***. Transportation Research Record, TRR No. 1912. Washington, DC: Transportation Research Board, 2005.

BARED, J.G. Drivers' ***Evaluation of the Diverging Diamond Interchange***. Federal Highway Administration Tech Brief. McLean, VA, 2007.

FHWA – Federal Highway Administration. Publication No.: FHWA-HRT-09-054. ***Technical summary of the Federal Highway Administration report, Alternative Intersections/Interchanges***: Information Report (AIIR) (FHWA-HRT-09-060). Washington/DC: FHWA, 2009.

CHLEWICKI, G. ***New Interchange and Intersection Designs: The Synchronized Split-Phasing Intersection and the Diverging Diamond Interchange***. 2nd Urban Street Symposium: Uptown, Downtown, or Small Town: Designing Urban Streets That Work, Anaheim, CA, 2003.

CHLEWICKI, G. ***Operational Effects of the Diverging Diamond Interchange***. 89th Transportation Research Board Annual Meeting DVD, Washington DC, 2010.

DARWIN, L. YASIS, P.E. ***Diverging Diamond Interchange in Minnesota - An unconventional approach to a growing congestion problem***. MnDOT State Geometrics Engineer. ACEC Conference March 1, 2011.

FERNANDES Júnior, J. L.; Oda, S. (1998). ***Interseções Rodoviárias – Notas de Aula***. STT/EESC/USP.

EESC/USP; *apud* BARBOSA, R. E. (2011) ***Engenharia de Tráfego – Notas de Aula***. Anápolis/GO: UnUCET/UEG - Universidade Estadual de Goiás.

MODOT - Missouri Department of Transportation. ***Missouri's Experience with a Diverging Diamond Interchange - Lessons Learned***. Missouri Department of Transportation - Organizational Results - PO Box 270. Jefferson City MO: MODOT, 2010.

SIROMASKUL, S. ***Diverging Diamond Interchanges: Answers to Frequently Asked Questions***. Portland, Oregon, USA: HDR, 2012.