

METODOLOGIA

Metodologia TOD, uma análise da oferta x demanda por transportes

Geraldo Freire Garcia

Mestrando em Planejamento Urbano e Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade de Brasília - UnB. Servidor Público Federal na Carreira de Especialista em Políticas Públicas e Gestão Governamental trabalhando atualmente na Secretaria Nacional de Transporte e da Mobilidade Urbana do Ministério das Cidades. E-mail: geraldofg@gmail.com

Os transportes públicos propiciam a integração das funções urbanas (residências, comércio, trabalho, lazer, estudo etc.), conectam os vários pontos de interesse do indivíduo e permitem que as pessoas usufruam o melhor que a cidade pode oferecer. Há inúmeras possibilidades de transportes como, por exemplo, os meios não motorizados, automóveis, ônibus ou transportes sobre trilhos; ao nível da rua, elevados ou subterrâneos; cada um com suas vantagens e seus custos. Não é tarefa simples distribuí-los pela malha urbana, mas a escolha dos modos, da rota e das integrações faz toda a diferença no resultado final, ou seja, a distribuição das linhas de transporte pode fazer com que o serviço seja mais ou menos eficiente.

Este artigo faz inicialmente uma breve revisão da literatura em busca de características urbanas que possam facilitar e incentivar os deslocamentos individuais e coletivos. Em seguida, analisa alguns indicadores propostos em estudos anteriores e, a partir deles, propõe uma metodologia para auxiliar os planejadores a escolher um bom itinerário para uma linha troncal de transporte, usando como informação de entrada apenas o mapa da cidade e as informações sobre as densidades populacionais por setor censitário. Os indicadores buscam atender a algumas características importantes como simplicidade, representatividade, buscam refletir diferentes níveis de cobertura espacial, dependendo da proximidade dos pontos de acesso ao sistema, são georreferenciados e permitem a agregação por local e por modo de transporte, facilitando a identificação de áreas para futuros investimentos de mobilidade urbana.

A metodologia proposta pode ser entendida como uma análise da oferta x demanda por serviços de transporte. Pelo lado da oferta,

verifica-se a cobertura espacial dos transportes, e, pelo lado da demanda, o nível de receptividade aos transportes, analisado por meio de um indicador, também proposto neste estudo.

A metodologia pode ser usada para quaisquer dos modos de transporte coletivo, mas, neste artigo, é testada em um sistema metroviário. Esta escolha se dá porque, pelo custo de sua infraestrutura e capacidade de carga, o metrô cria uma âncora de desenvolvimento, um eixo em torno do qual as cidades tendem a crescer. A partir das estações do metrô, outros modos de transporte se integram como um sistema de alimentação ao eixo principal. São linhas de ônibus, ciclovias e calçadas que facilitam o acesso ao transporte central.

ESTUDOS ANTERIORES

Qualidades urbanas que favorecem os deslocamentos

Krafta (2014) lembra que as cidades são as maiores e mais duradouras manufaturas já fabricadas e despertam os mais variados sentimentos, normalmente baseados em impressões parciais, experiências individuais e imagens fragmentadas. Mas “em oposição a esse universo de sensações e impressões subjetivas, desenvolve-se uma ciência do urbano” (Krafta, 2014, p. 15). Há, no entanto, variadas formas para avaliar, inúmeros ângulos para observar uma cidade e muitos adjetivos possíveis.

Jacobs (2000) usou o termo “saudável”, observando que a qualidade de vida nas cidades depende da forma como usamos as ruas. Ela assume como princípio onipresente a diversidade de usos para que a cidade ofereça uma vida urbana intensa, segura e agradável, que propicie uma sustentação econômica e social e conclui pela existência de quatro condições primordiais para gerar essa diversidade: as áreas urbanas devem atender a mais de uma função principal (moradia, trabalho, estudo, lazer etc.); a maioria das quadras deve ser curta, facilitando a movimentação de pedestres; os bairros devem ter uma combinação de edifícios com custos variados e, finalmente, que haja elevada densidade de pessoas fazendo uso do local.

Gehl (2010), por sua vez, defende a ideia de que a vida na cidade e o uso dos espaços públicos devem ser a chave do planejamento urbano. Um maior foco deve ser dado às necessidades das pessoas que usam as cidades com a finalidade de alcançar o que ele considera os quatro objetivos principais: cidades vivas, seguras, sustentáveis e saudáveis. O termo “saudável”, para ele, se refere às características urbanas que favorecem a saúde das pessoas. Todos os quatro objetivos, segundo o autor, podem ser reforçados por meio de incentivos aos pedestres, ciclistas e à vida urbana em geral.



www.antp.org.br

Para Krafta (2014), os critérios universais da avaliação de desempenho da forma urbana são eficiência, equidade, qualidade espacial e sustentabilidade, em que eficiência é o entendimento das cidades como um sistema que pode ser otimizado, uma forma de buscar economia de meios, ganhos de produtividade e funcionalidade. Segundo ele, a vida urbana cotidiana pode ser equiparada a um contínuo processo de deslocamentos e interações, e a eficiência desses procedimentos envolve a distribuição espacial de atividades e a minimização de distâncias. A eficiência também pode ser buscada no âmbito da instalação e operação de infraestruturas e serviços urbanos por meio da minimização da extensão de suas redes (água, esgoto, eletricidade, circulação, transporte, gás etc.) e maximização da abrangência. Equidade é uma referência à condição de funcionamento das cidades e de distribuição equilibrada de custos e benefícios, combatendo as diferenças causadas pela ocupação do espaço. Qualidade espacial trata de externalidades que afetam o ambiente urbano. Externalidades são efeitos não intencionais decorrentes de ações intencionais. “Da projeção de sombra sobre o terreno do vizinho ao congestionamento viário, da violação da privacidade ao desconforto, mas também da segurança nas ruas à valorização imobiliária, da urbanidade à geração de oportunidades, a cidade é plena de externalidades” (Krafta, 2014, p. 244). Por fim, a sustentabilidade que Krafta entende resumir os demais aspectos supondo que uma cidade eficiente e equânime será também sustentável.

O conceito TOD

Calthorpe (1993) lançou o conceito Transit-Oriented Development – TOD, que poderia ser traduzido por desenvolvimento urbano favorável aos deslocamentos individuais não motorizados e aos transportes coletivos, e cujos imperativos, segundo seu autor, são a integração social, a eficiência econômica, a equidade política e a sustentabilidade ambiental. Inicialmente, Calthorpe apresenta o conceito TOD de forma simples:

Alta ou moderada densidade de habitação agregada a usos públicos complementares como trabalhos, comércios e serviços, concentrados em um desenvolvimento de uso misto em pontos estratégicos ao longo do sistema de transportes públicos (Calthorpe, 1993, p. 41, tradução nossa).

A estrutura do TOD é nodal ou radial: trata-se de uma proposta de desenvolvimento urbano que contemple variadas funções como habitação, trabalhos e espaço público em um raio nas proximidades das estações de transporte público, a uma distância confortável para uma caminhada (Calthorpe, 1993, p. 42).



www.antp.org.br

Em resumo, os princípios do TOD são:

- Alocar comércio, habitação, trabalho, áreas de lazer e serviços públicos a uma distância curta entre si, provendo distâncias curtas de caminhada para os usuários;
- A estação de transporte público troncal deve, sempre que possível, estar localizada no centro do bairro TOD, ficando próxima a um grande número de residências, locais de trabalho, de compras e de lazer;
- Criar ruas amigáveis aos pedestres, interconectadas entre si de forma a oferecer alternativas de caminhos aos destinos;
- Oferecer ciclovias que cheguem até a estação de transporte;
- Privilegiar os espaços públicos no planejamento urbano;
- Encorajar o preenchimento e a renovação dos espaços urbanos ao longo das estações de transporte público em vizinhanças já existentes; e
- Organizar, em um nível regional, cidades compactas e conectadas pelo transporte público.

Calthorpe (1993) propõe que o TOD seja desenvolvido a uma distância média de 2.000 pés (aproximadamente 600 m) de uma estação de transporte público. No entanto, o seu tamanho é determinado caso a caso, “a média de 600 m de raio é pretendida para buscar uma distância para uma caminhada confortável (aproximadamente 10 min) para a maioria das pessoas” (Calthorpe, 1993, p. 56, tradução nossa). Em alguns locais, no entanto, essa distância pode sofrer influência de características físicas como topografia, clima ou sistema de vias.

Fazendo um resumo dos conceitos anteriores, este trabalho propõe o agrupamento de algumas características fundamentais para incentivar os deslocamentos pela cidade, apresentadas a seguir na tabela de referência TOD (tabela 1), por meio da qual podemos constatar que o conceito TOD é aderente ao que propõem conhecidos urbanistas:

Tabela 1
Tabela de referência TOD

Critério	Referências bibliográficas
Diversidade de usos	Jacobs, Krafta e Calthorpe
Incentivo aos pedestres	Gehl, Jacobs e Calthorpe
Incentivo ao uso das bicicletas	Gehl e Calthorpe
Compacidade e densidade	Gehl, Jacobs, Krafta e Calthorpe
Proximidade ao transporte público	Calthorpe

Índice TOD

Singh *et al.* (2017), em um minucioso estudo, propõem uma metodologia para medir quantitativamente os níveis de TOD existentes em uma área

situada nos arredores de uma estação de transporte, usando um indicador construído por meio da medição de critérios que definem um TOD. O índice proposto define o nível TOD do local e indica o que pode ser feito para se obter melhores resultados na implantação de um desenvolvimento urbano vinculado aos transportes. A metodologia foi testada nas cidades de Arnhem e Nijmegen na Holanda, em 21 estações de trem.

Os autores definiram oito regras, medidas por meio de 21 indicadores, acessíveis por meio de fontes secundárias e que permitem avaliar a situação do local com vistas a futuras intervenções (tabela 2). Para trazer todos os indicadores para uma unidade comparável, eles foram padronizados usando o método de padronização máxima, em que o máximo valor do indicador é 1, e todos os outros valores estarão entre 0 e 1 em razão do percentual em relação ao maior deles.

Tabela 2
Critérios de indicadores para medir o nível TOD

Nº	Critério	Indicadores
1	Densidade	Densidade populacional Densidade comercial ¹ (estabelecimentos comerciais / km ²)
2	Diversidade de uso do solo	Diversidade de uso do solo usando a medida de entropia solo
3	Facilidade para caminhar e pedalar	Mistura de uso residencial com outros usos Comprimento total dos caminhos para pedestres e ciclistas Densidade de interseções (número de interseções por km ²) Capacidade de uma área para captar pedestres
4	Desenvolvimento econômico	Nº de estabelecimentos de negócio por km ² (densidade) Arrecadação de impostos municipais no último ano Nível de emprego
5	Utilização do transporte público	Carga de passageiros nos horários de pico Carga de passageiros nos horários fora do pico
6	Transporte público fácil de usar e entender	Segurança dos passageiros nas paradas de ônibus Amenidades básicas nas estações Disponibilidade de informações nas estações
7	Acessibilidade e frequência do serviço	Frequência do serviço (nº trens por hora) Intercâmbio para diferentes rotas (nº rotas) Intercâmbio para outros modos de transporte Número de postos de trabalho no entorno da estação
8	Estacionamentos na estação	Utilização dos estacionamentos por carros Utilização dos estacionamentos por bicicletas

1. Estabelecimentos comerciais representam locais de prestação de serviço e lojas. Estabelecimentos de negócio são os outros, como consultoria.

Fonte: SINGH et al., 2017.



Indicador de cobertura espacial do transporte (Magalhães, 2016)

Magalhães (2016) apresenta o indicador Transport Spatial Coverage Index – TSCI, indicador de cobertura espacial do transporte que faz uso de ferramentas de geoanálise e leva em conta o comportamento espacial da rede de transporte. A cobertura espacial de um serviço pode ser entendida como a área em que sua influência é percebida. No caso dos transportes, a cobertura espacial é uma região em torno das linhas ou nós da rede. O autor apresenta um indicador de cobertura espacial capaz de capturar as dimensões das redes de transporte e suas influências no território.

O TSCI é definido como: $TSCI_{m/x} = \frac{\sum_1^n \gamma(i)A_i}{A_x}$, em que:

$TSCI_{m/x}$: Índice de cobertura espacial do modo de transporte de m na região x;

$\gamma(i)$: Função peso – determina o peso em função da distância da i-ésima parcela, em que $\gamma(i) \in [0;1]$ (zero = distante, 1 = próximo);

A_i : Área da i-ésima parcela pertencente a X;

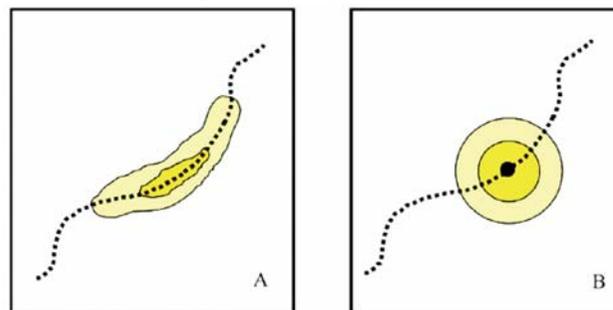
A_x : Área da região X;

n: Número de parcelas.

Com $TSCI_{m/x} \in [0;1]$, os valores próximos a 0 indicam a carência de cobertura espacial de infraestrutura ou serviço, enquanto valores próximos a 1 indicam máxima cobertura.

O TSCI apresenta uma vantagem em relação a outros indicadores: a cobertura da rede é calculada considerando o ponto que representa a estação do transporte coletivo em que efetivamente acontece o acesso ao serviço e não ao longo das vias como acontece nas rodovias (figura 1)

Figura 1
Modelo (derivado da extensão) de uma área urbana seguindo uma via (A) e o modelo de desenvolvimento concêntrico em torno da estação de transporte (B) (Magalhães, 2016)



Fator peso do TSCI

Magalhães (2016) termina seu artigo deixando algumas questões a serem respondidas. Dentre elas, questiona como a função peso deve ser definida e quais critérios devem ser usados. Adaptando o TSCI para uma área urbana, este trabalho sugere os seguintes valores (tabela 3).

Tabela 3

Fator peso para um tecido urbano

Distância	Peso	Critério de cálculo
$\sqrt{0-400m}$	1,00	5 min a pé ¹
$\sqrt{400-800m}$	0,75	10 min a pé
$\sqrt{800-1.600m}$	0,50	5 min de bicicleta ou ônibus
$\sqrt{1.600-3.200m}$	0,25	10 min de bicicleta ou ônibus
$\sqrt{+3.200m}$	0	Mais do que 10 min de bicicleta ou ônibus

1. Estas distâncias foram escolhidas em acordo com as teorias TOD, conforme o tempo que levam para serem percorridas pelos meios de transporte não motorizados, adotando-se as seguintes velocidades: 5 km/h para as caminhadas e 20 km/h para as bicicletas.

Indicador de Receptividade aos Transportes - IRT

Simplificando o trabalho de Singh *et al.* (2017) e combinando-o com a tabela de referência TOD (tabela 1), este trabalho utiliza um conjunto de indicadores relativos à forma da cidade, ao uso e ocupação do solo (tabela 4) e propõe um indicador para medir a receptividade aos transportes – IRT, assim calculado:

$$IRT = (I_{mus} + I_{dens}^{rel} + I_{cont} + I_{perm}^{rel} + I_{cc}^{rel} + I_{di}^{rel}) / 6$$

Tabela 4

Indicadores da forma urbana e do uso do solo

Critérios TOD	Indicadores
Diversidade de usos	Mistura de uso residencial com outros usos (I_{mus})
Incentivo aos pedestres	Continuidade (I_{cont}) Permeabilidade (I_{perm}) Densidade de interseções (I_{dens})
Incentivo ao uso das bicicletas	Comprimento total dos caminhos para ciclistas (I_{cc})
Compacidade e densidade	Densidade populacional (I_{di})

Também para este trabalho os indicadores variam entre 0 e 1, de forma que o IRT, sendo uma média aritmética, também terá o seu valor entre 0 e 1. Valores próximos de zero indicam uma área pouco receptiva aos transportes, enquanto que valores próximos de 1 indicam máxima receptividade. Poder-se-ia trabalhar com pesos diferentes, mas para

este estudo todos os seis indicadores terão a mesma importância. Os indicadores que compõem o IRT estão descritos a seguir e foram escolhidos em função da sua representatividade, simplicidade e facilidade de cálculo quando por meio de ferramentas georreferenciadas.

Indicador da mistura de uso residencial com outros usos (Singh *et al.*, 2017)

“Diversidade de uso do solo é crítica no conceito TOD, na medida em que cria um senso de lugar em torno da estação de transporte e melhora o uso dos transportes nos horários fora do pico e nos finais de semana” (Singh *et al.*, 2017, p. 102, tradução nossa). O solo pode ser usado para fins residencial, comercial, industrial, de saúde, educação, esporte, lazer etc. Uma simplificação, porém suficiente para este estudo, é comparar o uso residencial aos demais, partindo do entendimento de que muitas viagens poderão ser feitas a pé ou por bicicleta se houver uma mistura suficiente entre ocupações residenciais e não residenciais, conforme sugere Singh *et al.* (2017). Seu cálculo será feito pela seguinte fórmula, uma simplificação do que propõem os autores:

$$I_{mus} = \frac{A_r}{A_r + A_o}, \text{ em que:}$$

A_r = Área ocupada por residências

A_o = Área com uso diferente de residencial

Adotando o critério de balanceamento proposto por Singh *et al.* (2017), serão considerados favoráveis valores até 0,5 que, a partir de então, passam a ser considerados desfavoráveis. Para ajustar os valores entre 0 e 1, o resultado será multiplicado por 2. Quando o valor for superior a 1, o resultado é subtraído de 1, assim o indicador ficará entre 0 e 1, em que 1 representa a distribuição ótima de usos.

Indicador de continuidade (Krafta, 2014)

Krafta (2014) apresenta um denso trabalho sobre indicadores da forma das cidades. Para apoiar este estudo, foram selecionados alguns deles. Continuidade mede o grau de fragmentação urbana por meio do exame do seu perímetro. É uma comparação entre o perímetro do assentamento urbano com o do perímetro do polígono convexo mínimo que o contém (figura 2):

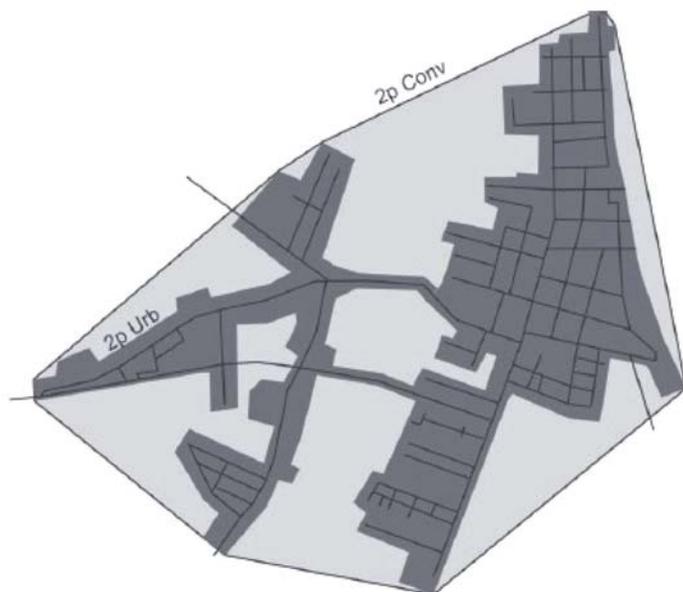
$$I_{cont}(U) = \frac{2P_{conv}}{2P_u}$$

A medida varia entre 0 e 1. O limite superior representa a máxima continuidade, situação em que a do perímetro do assentamento coín-



cide com a do seu polígono convexo mínimo circunscrito e, assim, não possui reentrâncias ou vazios internos. O limite inferior corresponderia a uma situação hipotética em que o perímetro do assentamento tenderia ao infinito, com a máxima fragmentação. Continuidade espacial urbana é uma característica associada à eficiência, já que descontinuidades do tecido urbano impõem percursos mais longos aos usuários, às redes de infraestrutura e aos serviços (Krafta, 2014).

Figura 2
Esquema demonstrativo do cálculo do indicador de continuidade



$$I_{\text{cont}}(U) = \frac{2P_{\text{conv}}}{2P_u}$$

Relaciona as medidas do perímetro do assentamento e do perímetro do polígono convexo circunscrito.

Indicador de permeabilidade (Krafta, 2014)

Este indicador procura medir a intensidade da interface entre o espaço público e o privado, (...) propiciada por linhas de contato entre espaços públicos e lotes de terra privados e consta como uma das qualidades urbanas a serem perseguidas. A permeabilidade também afeta os padrões de circulação urbana no modo pedestre, razão pela qual muitas cidades estabelecem medidas máximas para novos quarteirões (Krafta, 2014, p. 253).

A permeabilidade pode ser medida pela relação entre a extensão total de vias públicas e a área considerada (Krafta, 2014):

$$I_{\text{perm}}(U) = \frac{\sum L}{A}, \text{ em que:}$$

L é o comprimento das vias públicas e A é a área considerada.

Quanto maior a permeabilidade, mais favorável à mobilidade urbana. A medida relativa tem a seguinte expressão, em que j representa uma área urbana em análise e i representa a área de controle em que a permeabilidade é elevada.

$$I_{\text{perm}}^{\text{rel}}(U) = \frac{I_{\text{perm}}(j)}{I_{\text{perm}}(i)}$$

Os valores variam entre 0 e 1, em que 0 indica um local sem vias públicas e 1, os locais de maior permeabilidade na área estudada.

Os outros indicadores sugeridos – comprimento total dos caminhos para ciclistas e densidade de interseções (I_{cc}^{rel} , I_{di}^{rel}) (Singh *et al.*, 2017) – também serão medidos por meio de informações geográficas e terão os valores calculados de forma relativa, dividindo-os pelos maiores valores encontrados entre as áreas urbanas estudadas, variando, assim, entre 0 e 1. Caminhos para ciclistas favorecem o uso das bicicletas e muitas interseções indicam quarteirões pequenos e a existência de caminhos alternativos entre os pontos da cidade, o que incide diretamente sobre a mobilidade, especialmente para os pedestres.

Indicador de compacidade (Krafta, 2014)

Compacidade é um conceito caro a muitos urbanistas por estar associado a uma vida urbana interessante como animação, urbanidade, segurança etc. Cidades compactas propiciam uma utilização mais econômica de infraestruturas, serviços e equipamentos urbanos. Um procedimento que oferece alto grau de acuidade em seu cálculo é a comparação da área construída com a área urbanizada. Entretanto, calcular a área construída é geralmente uma tarefa difícil. O índice de densidade populacional é mais fácil de calcular e avalia a compacidade indiretamente, supondo que as cidades mais densas são também mais compactas (Krafta, 2014).

Para esse estudo, portanto, a compacidade foi medida pela densidade populacional, calculada pela relação entre a população local e a área estudada. A densidade terá valor relativo, levando-se em conta o maior valor encontrado nas áreas de estudo.

$$I_{\text{dens}}^{\text{rel}}(U) = \frac{I_{\text{dens}}(j)}{I_{\text{dens}}(i)} \text{ em que:}$$



j representa uma zona pertencente ao sistema urbano em análise e i , a zona desse sistema em que a compacidade é máxima. Os valores variam entre 0 e 1, em que 0 indica locais vazios e 1, os locais mais densos da cidade.

DESCRIÇÃO DO MÉTODO

Combinando e adaptando os estudos anteriores, este trabalho propõe uma metodologia para identificar locais em uma cidade com potencial para a chegada dos transportes públicos e, por outro lado, locais já servidos pelo transporte público com potencial para o desenvolvimento de bairros orientados aos transportes:

Etapa 1: Definição da área de estudo.

Etapa 2: Cálculo do índice de receptividade aos transportes – IRT, fazendo uso de um SIG para a geração de mapas temáticos, de forma a produzir uma representação visual dos seus resultados.

Etapa 3: Cálculo do índice de cobertura espacial dos transportes públicos urbanos (TSCI), com uso do fator peso proposto por este estudo (tabela 3).

Etapa 4a: Identificação de áreas com potencial para o desenvolvimento de bairros TOD, que serão os locais com alto índice de cobertura espacial dos transportes (TSCI) e baixa receptividade (IRT) indicando a necessidade de desenvolvimento urbano; ou

Etapa 4b: Identificação de áreas preferenciais para a chegada do principal transporte da cidade, que serão os locais de menor TSCI e maior IRT.

A metodologia pode também ser entendida como uma análise da oferta x demanda dos serviços de transporte público ao comparar, de um lado, a cobertura espacial (oferta dos serviços de transporte) ao Indicador de Receptividade aos Transportes (demanda).

Locais de muita oferta de transportes (elevado TSCI) e baixa demanda (pequeno IRT) necessitam de um aumento da demanda (maior desenvolvimento urbano com os critérios TOD – tabela 1). No caso contrário, locais de baixa oferta de transportes (TSCI), porém bem desenvolvidos em termos urbanos (IRT), carecem da oferta de serviços de transporte.

ESTUDO DE CASO

O estudo de caso neste trabalho servirá a dois objetivos: primeiro, para testar a metodologia proposta e, segundo, para demonstrar algumas intervenções TOD para aumentar a receptividade aos transportes nas proximidades da estação do metrô.



www.antp.org.br

Estação Shopping – Teste da metodologia

Etapa 1: Definição da área de estudo

Os locais escolhidos foram áreas compreendidas em um raio de 800 m na Asa Norte e em torno da estação Shopping do metrô, ambos em Brasília (figuras 4 e 5).

O entorno da estação Shopping é um local servido pelo sistema metrô-viário, porém com baixa densidade demográfica e poucos incentivos aos transportes não motorizados. O seu potencial está no conjunto de lotes vazios de grandes dimensões que podem passar por um processo de parcelamento e de redefinição quanto ao seu uso.

Para efeito de comparação, foi escolhido um local na Asa Norte, a partir de um ponto central na CLN 111 / 112, uma área urbana já desenvolvida e densamente povoada, mas que não recebe o serviço do metrô.

Com o objetivo de simplificar os cálculos, porém suficiente para demonstrar a metodologia, a cobertura espacial do transporte público foi calculada apenas para o modo metrô, o transporte público coletivo de maior capacidade.

Figuras 4 e 5
Área escolhida (estação Shopping) e área de comparação (Asa Norte)



Círculo com raio de 800 m.

Etapa 2: Cálculo do Indicador de Receptividade aos Transportes – IRT

Conforme mencionado anteriormente, o IRT é calculado segundo a fórmula

$$IRT = (I_{mus} + I_{dens}^{rel} + I_{cont} + I_{perm}^{rel} + I_{cc}^{rel} + I_{di}^{rel}) / 6$$

$$\text{Indicador de mistura de uso do solo (I}_{MUS}\text{): } I_{mus} = \frac{A_r}{A_r + A_0}$$

As áreas residenciais (A_r) e com outros usos (A_o) são calculadas por meio do mapa, considerando apenas sua projeção no solo (figuras 6 e 7). Caso o prédio seja de uso misto, como as áreas comerciais da Asa Norte, seus valores serão somados, metade às áreas residenciais (A_r) e metade às de outros usos (A_o). Hotéis serão considerados como área residencial. Conforme visto na apresentação da metodologia, a área será considerada ótima para o transporte quando o uso residencial representar metade de todos os usos do solo. Para que I_{MUS} tenha um valor entre 0 e 1, em que 1 será o melhor valor, como ocorre com os outros indicadores usados no cálculo, o valor encontrado será multiplicado por 2, e se ele for maior que 1, será subtraído de 1.

Estação Shopping:

$A_r = 11,37$ ha; $A_o = 53,35$ ha => $I_{MUS} = 0,1757$;
 Multiplicando por 2 temos $I_{MUS} (ES) = 0,3514$

Asa Norte:

Área de uso misto = 25,12. Metade (12,56) será somada à A_r e a outra metade à A_o
 $A_r = 95,76 + 12,56 = 108,32$ ha; $A_o = 26,03 + 12,56 = 38,59$ ha
 $I_{MUS} = 0,7373$; multiplicando por 2: $I_{MUS} = 1,4746$.
 Como o valor é maior que 1, faz-se $I_{MUS} = 1 - 0,4746$, ou $I_{MUS} (AN) = 0,5254$

Figura 6
 Uso do solo na estação Shopping



Círculo em um raio de 800 m
 Ferramenta: Google Earth Pro.



Figura 7
 Uso do solo na área de comparação na Asa Norte



Círculo em um raio de 800 m
 Ferramenta: Google Earth Pro.

Índice de densidade relativa: A densidade populacional de cada uma das áreas foi calculada com base na população e nas áreas dos setores censitários informados pelo censo 2010 do IBGE (2013).¹ As densidades calculadas foram:

$$I_{Dens-AN} = 12.403 \text{ hab/km}^2 \text{ e } I_{Dens-ES} = 50 \text{ hab/km}^2.$$

Como o valor do índice é relativo, faz-se a divisão do valor da densidade local pela maior densidade encontrada nas áreas de estudo:

$$I_{dens}^{rel}(ES) = \frac{I_{Dens-ES}}{I_{Dens-AN}} = \frac{50}{12403} = 0,0040; \quad I_{dens}^{rel}(AN) = 1$$

Índice de continuidade: (Krafta, 2014) Para este cálculo, é feita uma comparação entre o perímetro da área urbanizada em estudo e o do polígono convexo mínimo que a contém (figuras 8 e 9).

1. Após 2010, foram inaugurados novos condomínios na região em torno da estação Shopping, o que provocou um considerável aumento da densidade populacional, mas este crescimento aparecerá apenas no próximo censo. Para efeito do estudo, no entanto, este trabalho utiliza as informações do censo 2010.

Figuras 8 e 9
Polígono convexo e polígono da área urbana para a estação Shopping



Ferramenta: Google Earth Pro.

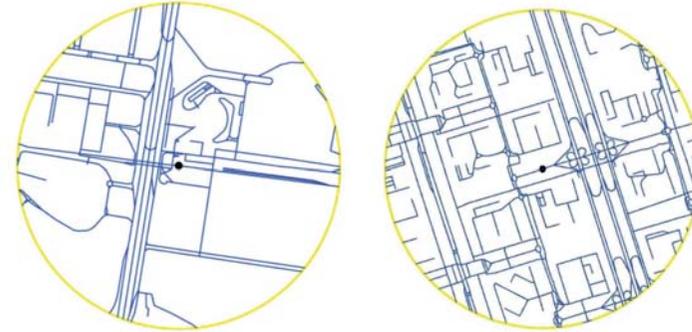
Para a área da Asa Norte o valor será 1 ($I_{cont}(AN) = 1$), dado que a área em estudo está totalmente coberta pela urbanização. Para a área da estação Shopping:

$$I_{cont}(ES) = \frac{2P_{conv}}{2P_u} = \frac{1,13}{1,68} = 0,6131$$

Índice de permeabilidade relativa: A permeabilidade é calculada pelo somatório do comprimento das vias dividido pela área urbana considerada. Os comprimentos das vias internas à área de estudo foram obtidos por meio de um recorte nos mapas fazendo uso de um sistema de informações geográficas ArcGIS Pro e de mapas do Open Street Map (figuras 10 e 11).



Figuras 10 e 11
Vias internas à área escolhida (estação Shopping) e à área de comparação (Asa Norte)



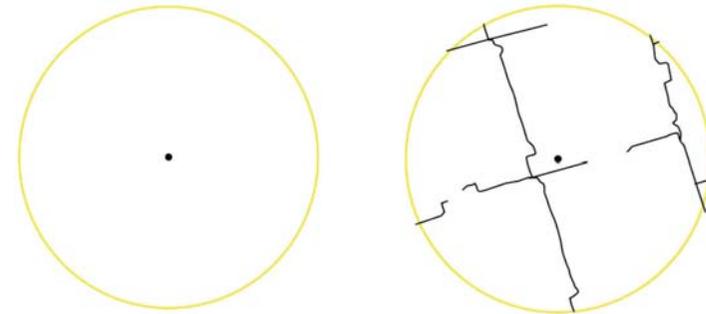
Fonte: OpenStreetMap.

$$I_{perm}(ES) = \frac{\sum L}{A} = \frac{24,01}{2,01} = 11,95 \text{ m/ha}; I_{perm}(AN) = \frac{\sum L}{A} = \frac{39,63}{2,01} = 19,72 \text{ m/ha}$$

$$I_{perm}^{rel}(ES) = \frac{I_{perm}(ES)}{I_{perm}(AN)} = \frac{11,95}{19,72} = 0,6060; I_{perm}^{rel}(AN) = 1$$

Índice de caminhos para ciclistas, medida relativa (I_{cc}^{rel}): (figuras 12 e 13).

Figuras 12 e 13
Caminhos para ciclistas. Área escolhida (estação Shopping) e área de comparação (Asa Norte)



Fonte: OpenStreetMap.

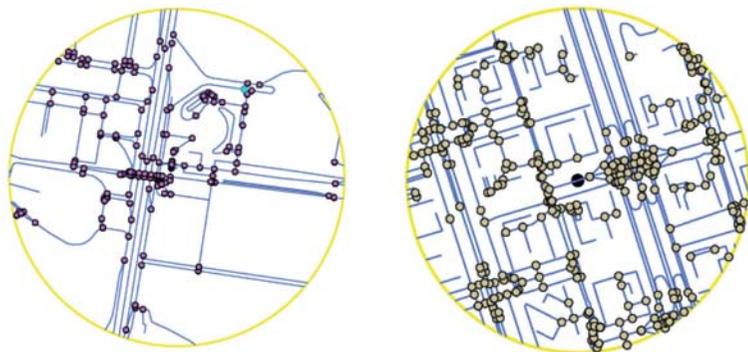
$$I_{cc}(ES) = \frac{\sum L}{A} = \frac{0}{2,01} = 0 \text{ m/ha}; I_{cc}(AN) = \frac{\sum L}{A} = \frac{4520}{2,01} = 2260 \text{ m/ha}$$

$$I_{cc}^{rel}(ES) = \frac{I_{perm}(ES)}{I_{perm}(AN)} = \frac{0}{2,260} = 0; I_{cc}^{rel}(AN) = \frac{I_{perm}(AN)}{I_{perm}(AN)} = \frac{2,260}{2,260} = 1$$

Índice de densidade de interseções, medida relativa (I_{di}^{rel}): (figuras 14 e 15).

Figuras 14 e 15

Densidade de interseções na área escolhida (estação Shopping) e na área de comparação (Asa Norte)



Fonte: OpenStreetMap.

$$I_{DI}(ES) = \frac{\text{Número de interseções}}{A} = \frac{314}{2,01} = 156,2 \text{ Interseções/ha}$$

$$I_{DI}(AN) = \frac{\text{Número de interseções}}{A} = \frac{640}{2,01} = 318,4 \text{ Interseções/ha}$$

$$I_{DI}^{rel}(ES) = \frac{I_{DI}(ES)}{I_{DI}(AN)} = \frac{156,2}{318,4} = 0,4906; I_{DI}^{rel}(AN) = 1$$

Indicador de Receptividade aos Transportes

$$IRT = (I_{mus} + I_{dens}^{rel} + I_{cont} + I_{perm}^{rel} + I_{cc}^{rel} + I_{di}^{rel}) / 6$$

$$IRT(ES) = (0,3514 + 0,0040 + 0,6131 + 0,6060 + 0 + 0,4906) / 6 = 0,3442$$

IRT (ES) = 0,3442

$$IRT(AN) = (0,5254 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1) / 6 = 0,9209$$

IRT (AN) = 0,9209

Etapa 3: Cálculo do índice de cobertura espacial dos transportes

Conforme apresentado anteriormente, o índice de cobertura espacial proposto por Magalhães (2016) é calculado pela expressão $TSCI_{m/x} = \frac{\sum_1^n y(i)A_i}{A_x}$, onde $y(i)$ representa um fator peso que decresce conforme a distância (tabela 3), sendo que seu valor será 0 a partir de 3.200 m,



que representa mais de 10 min de bicicleta ou ônibus a 20 km/h (figuras 16 e 17).

TSCI (AN) = 0, pois o centro da área está a mais de 3,2 km da estação mais próxima do metrô.

$$TSCI(ES) = (0,50 \times 1 + 1,51 \times 0,75) / 2,01 = 0,8122$$

Figuras 16 e 17

Distância para a estação do metrô na área de comparação (Asa Norte) e na área escolhida (estação Shopping)



Ferramenta: Google Earth Pro.

Etapa 4a: Identificação das áreas com potencial para o desenvolvimento de bairros TOD

Para a estação Shopping temos uma alta cobertura dos transportes públicos, considerando que o metrô está no centro da área em estudo, $TSCI(ES) = 0,8122$, e baixa receptividade aos transportes, $IRT(ES) = 0,3442$, indicando um local de grande potencial para o desenvolvimento de um bairro TOD.

Etapa 4b: Identificação das áreas preferenciais para a chegada de uma estação do metrô

Para a área urbana na Asa Norte, temos uma situação inversa, a área está sem cobertura do metrô, $TSCI(AN) = 0$, porém com alta receptividade aos transportes, $IRT(AN) = 0,9209$, indicando um local preferencial para a chegada de uma estação do metrô.

Assim como acontece em Brasília, há, no Brasil, muitos outros casos claros de ocorrências de áreas cobertas pelo metrô e pouco desenvolvidas em termos urbanos, ou seja, com grande potencial para a

implantação de um bairro TOD, onde se pode criar a demanda pelos transportes promovendo um desenvolvimento urbano que crie áreas atrativas aos transportes.

Estação Shopping – Ilustração de uma possível solução TOD

A tabela 5 mostra uma verificação da aderência da área no entorno da estação Shopping à tabela de referência TOD (tabela 1).

Tabela 5
Tabela de referência TOD para a estação Shopping

Critério	Estação Shopping
Diversidade de usos	Sim, mas muito espalhada
Incentivo aos pedestres	Não
Incentivo ao uso das bicicletas	Não
Compacidade e densidade	Muito baixa
Transporte público abrangente, fácil de usar e entender	Sim, mas precisa melhorar a coleta por ônibus alimentadores
Frequência e integração dos transportes	Falta a integração com outros modos de transporte
Cidades multicêntricas e integração regional	Não se aplica por ser apenas um bairro regional

Brasília é uma cidade diferenciada em função do seu tombamento urbanístico que busca preservar suas quatro escalas: monumental, gregária, residencial e bucólica. As adaptações urbanas propostas neste estudo não se adequam às quatro escalas tombadas e também não pretendem ser um projeto para ser executado, mas apenas uma demonstração de uma solução TOD e seus impactos na eficiência do sistema de transportes. A proposta para o local inclui o seguinte conjunto de intervenções e políticas.

Intervenções na infraestrutura

- Reparcelamento dos terrenos vazios (figura 18) para produzir lotes com malha ortogonal (maior permeabilidade), quadras pequenas e aumento das áreas de deslocamento e de uso público como calçadas, ciclovias, vias, praças, jardins e áreas de descanso e lazer.
- Aumento no coeficiente de aproveitamento do terreno para permitir a construção de prédios mais altos, aumentando a compacidade, especialmente nos locais mais próximos da estação do metrô.
- Construção de grandes prédios comerciais sobre e em volta da estação do metrô (figura 19).



www.antp.org.br

- Permitir construções de uso misto, de forma que possa haver habitações nos andares superiores e comércio na parte térrea, ao longo de algumas calçadas, promovendo ruas mais atrativas aos pedestres (figuras 20, 21 e 22).
- Construção de habitações e comércio com custos variados, de forma a atender diversas classes sociais.
- Construção de ciclovias tendo como eixo central o meio da Epia, distribuídas pela área urbana e se conectando ao conjunto de ciclovias (já existentes ou planejadas) da rede cicloviária de Brasília (figuras 23 e 24).
- Inserir e alterar linhas de ônibus, de forma que passem por locais mais distantes (até 3,2 km, ou seja, 10 min a uma velocidade média de 20 km/h), atingindo várias áreas residenciais e comerciais, como a Candangolândia e Guará ao sul e SIA e Octogonal ao norte, servindo como sistema de alimentação ao metrô (figura 25).

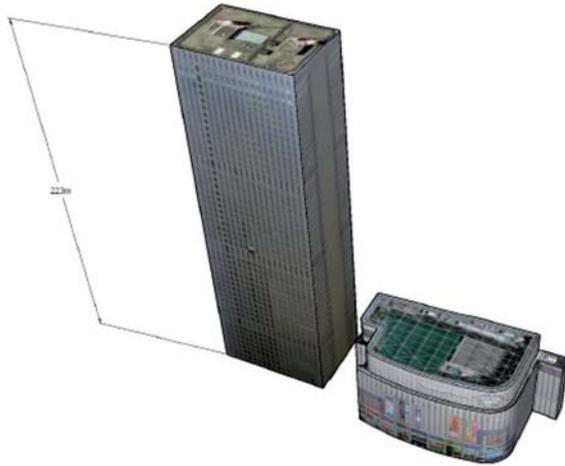
Figura 18
Terrenos livres em um raio de 800 m da estação Shopping



Ferramenta: Google Earth Pro.

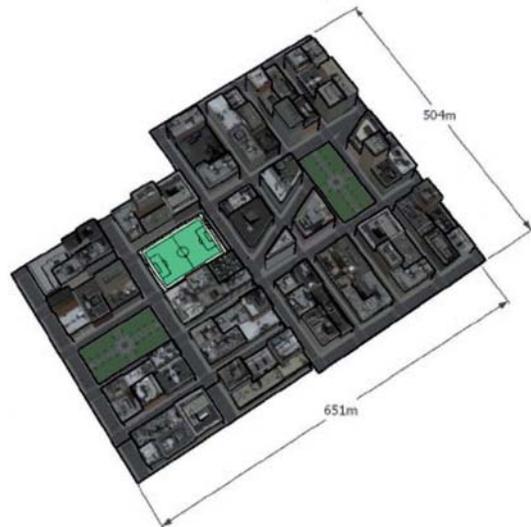
A figura 18, acima, mostra duas áreas de uso reservado: o parque do Guará (em verde) e o local onde há previsão de passar a via Transbrasiliana (em roxo), quatro áreas livres maiores (em azul), onde podem ser construídas zonas de uso misto adensadas, e a área mais próxima da estação Shopping (em vermelho), onde este trabalho propõe a construção de grandes prédios comerciais.

Figura 19
Prédios comerciais da estação de Shinjuku em Tóquio



Fonte: SketchUp

Figura 20
Área de uso misto em Manhattan, Nova York, com 22 quadras



Local intensamente coberto pelo Metrô

Fonte: SketchUp

Figura 21
Exemplo de uma superquadra de Brasília - SQS 414 em Brasília - DF



Fonte: Google Earth Pro.

Figura 22
Composição das imagens gerando uma área adensada



Fonte: Google Earth Pro com imagens do SketchUp.



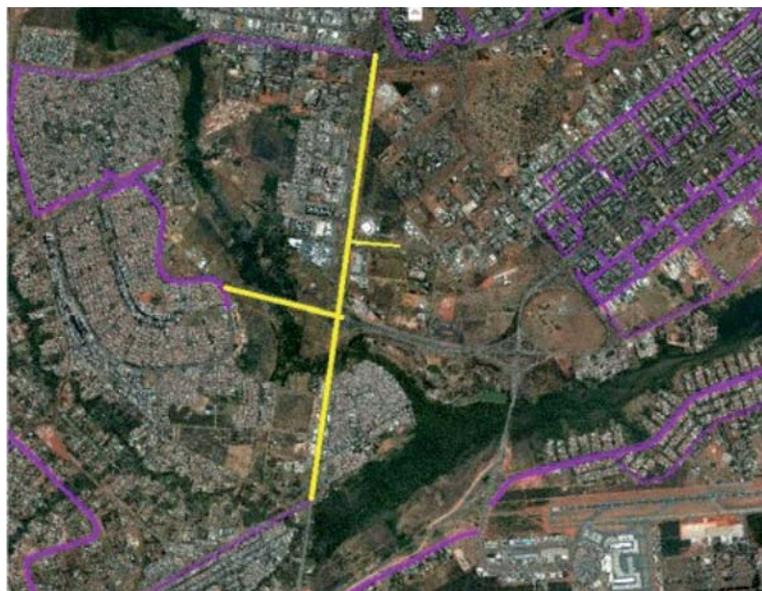
www.antp.org.br

Figura 23
Proposta de traçado para as cicloviás e calçadas



Ferramenta: Google Earth Pro.

Figura 24
Integração à rede cicloviária do DF



Fonte: GeoPortal DF.

Figura 25
Proposta de linhas de ônibus em um raio de 3.200 m, ou seja, 10 min de ônibus, a uma velocidade média de 20 km/h, para alimentar o metrô atendendo o SIA, Octogonal, Guarã e Candangolândia



Ferramenta: Google Earth Pro.



www.antp.org.br

CONCLUSÃO E FUTURAS PESQUISAS

O metrô é um transporte público de massa, ou seja, tem capacidade de transportar milhares de pessoas por hora, sua rota não compete com outros veículos ou pedestres podendo manter velocidade constante e pontualidade. Depois de implantado, suas linhas se tornam eixos troncais de transporte e os locais e suas vizinhanças onde ficam as estações se valorizam. Considerando ainda os altos custos de sua infraestrutura, podemos dizer que não aproveitar as áreas próximas às estações do metrô em termos de densidade residencial e desenvolvimento comercial é um desperdício. Conforme visto, a área estudada pode contemplar, além do que já existe no local, mais 22 quadras equivalentes às encontradas em Manhattan, Nova York, parques, jardins, áreas esportivas e construções maiores nas adjacências da estação do metrô, como se faz em Tóquio, otimizando o aproveitamento do local de máxima acessibilidade. Desenvolvimentos sob o conceito TOD têm a capacidade de pro-

duzir novas centralidades, polos com considerável força de atração e geração de viagens, produzindo uma maior distribuição no fluxo dos deslocamentos. Uma solução como essa facilita a circulação de pedestres e ciclistas; torna mais fácil o acesso às estações; aumenta o número de passageiros no metrô, com conseqüente aumento na receita tarifária; aumenta a área de uso público; e mais vias, especialmente calçadas e ciclovias, oferecem maior segurança aos pedestres, com a redução da velocidade dos automóveis e com a definição das prioridades em favor dos meios de transporte não motorizados.

Finalmente, para futuras pesquisas, a partir da metodologia proposta e tendo apenas o mapa e informações sobre a densidade urbana por setor censitário, é possível desenvolver um *software* que indique graficamente qual o melhor traçado para o metrô em uma cidade ou, por outra, tendo o metrô já implantado, que indique as estações subutilizadas e, portanto, prioritárias para investimentos no desenvolvimento urbano orientado aos transportes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. _____ . Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Estatuto da Cidade. _____ . Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012. Política Nacional de Mobilidade Urbana. _____ . Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015. Estatuto da Metrópole.
- CALTHORPE, P. *The next American metropolis: ecology, community, and the American dream*. Nova York: Princeton Architectural Press, 1993.
- CERVERO, R. Linking urban transport and land use in developing countries. *Journal of Transport and Land Use (JTLU)*, vol. 6, 2013, p. 7-24.
- GEHL, J. *Cities for people*. Washington: Island Press, 2010.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Atlas do censo demográfico 2010. Rio de Janeiro: [s. n.].
- JACOBS, J. *Morte e vida de grandes cidades*. 1ª edição. São Paulo: Martins Fontes, 2000.
- KRAFTA, R. *Notas de aula de morfologia urbana*. 1ª edição. Porto Alegre: UFRGS, 2014.
- MAGALHÃES, M. T. Spatial coverage index for assessing national and regional transportation infrastructures. *Journal of Transport Geography*, vol. 56, 2016, p. 53-61.
- MEDDA, F. Land value capture finance for transport accessibility: a review. *Journal of Transport Geography*, vol. 25, 2012, p. 154-161.
- MULLEY, C. & TSAI, C.-H (Patrick). When and how much does new transport infrastructure add to property values? Evidence from the bus rapid transit system in Sydney, Australia. *Transport Policy*, vol. 51, out. 2016, p. 15-23.
- SINGH, Y. J. *et al.* Measuring TOD around transit nodes - towards TOD policy. *Transport Policy*, vol. 56, 2017, p. 96-111.
- SUZUKI, H. *et al.* *Financing Transit-Oriented Development with land values: adapting land value capture in developing countries*. [s. l.: s. n.].



www.antp.org.br



ASSOCIAÇÃO NACIONAL
DE TRANSPORTES PÚBLICOS

Nosso Objetivo

A ANTP é uma entidade civil, sem fins lucrativos, criada em 1977, voltada ao setor de transporte público e do trânsito do Brasil e que tem por objetivo desenvolver e difundir conhecimentos visando seu contínuo aprimoramento.

Administração

O Conselho Diretor da ANTP é o órgão responsável pela definição da política da ANTP e por sua execução

Estatuto Social

Conheça os valores, propósitos, direitos, deveres da ANTP e seu papel para sociedade.

Empresas Associadas

A ANTP possui mais de 300 associados, entre órgãos públicos - gestores de transporte público e de trânsito, empresas operadoras públicas e privadas, sindicatos patronais e de empregados, fabricantes e prestadores de serviço, consultores e universidades.

Visite o site da entidade www.antp.org.br