

## Aplicação do processo de raciocínio da teoria das restrições (TOC), para análise dos gargalos do transporte público

### RESUMO

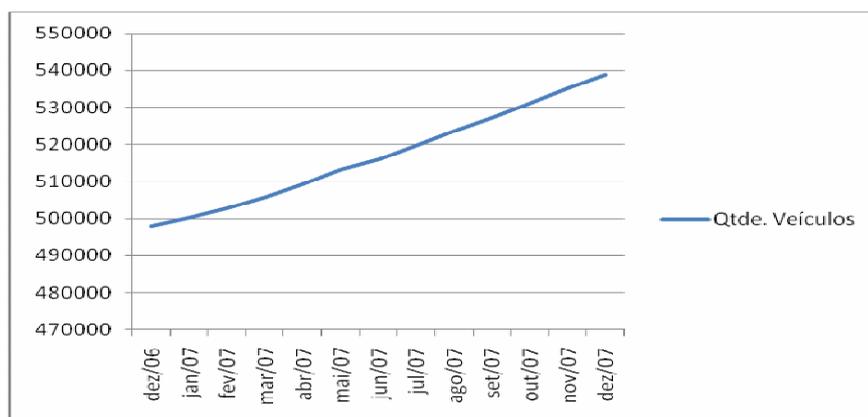
*O presente artigo tem por objetivo aplicar uma metodologia de avaliação de gargalos e proposição de soluções dos mesmos para o sistema de transporte público. Inicialmente, foram identificados fatores que são considerados restrições nos sistemas de transporte coletivo público. Com estes fatores em mãos, é aplicada a metodologia baseado no processo de raciocínio da Teoria das Restrições (TOC), no sentido de obter soluções e priorizar ações, bem como defini-las em consonância com os gargalos identificados, indicando a relação das ações com os possíveis efeitos da implantação da mesma. Com isto, fica possível a priorização das ações a serem tomadas em função dos impactos potenciais que as mesmas causam sobre os chamados efeitos indesejáveis, os gargalos existentes no sistema.*

Palavras-Chave: Teoria das Restrições. Transporte de passageiros. Gargalos.

### 1. INTRODUÇÃO

O transporte urbano de Fortaleza é composto, principalmente, pelo sistema de transporte coletivo por ônibus. Este sistema vem apresentando deficiência no nível de serviço prestado à população. Esta ineficiência, associada às facilidades na aquisição de veículos automotores particulares novos, vem causando um problema sério para a cidade, com aumento no número de veículos nas vias e, conseqüentemente, aumento do número de pontos com congestionamento. A Figura 1 ilustra este fato, trazendo o comportamento da evolução da quantidade de veículos automotores particulares no ano de 2007.

Figura 1: Evolução mensal da quantidade de veículos



Fonte: Detran, Ce.

Assim, observa-se que a frota vem crescendo a cada mês. O impacto desta frota em crescimento vem sendo sentido na quantidade crescente de congestionamentos na cidade. Assim, faz-se necessário que seja oferecido um serviço de transporte com melhor nível de serviço para evitar a fuga dos usuários do sistema para outras formas de transportes, como os veículos particulares, ou até mesmo as lotações. Atualmente, com estabilidade econômica

percebida, camadas da população com renda inferior, aliado com linhas de crédito bastante elásticas, vem fazendo aumentar o número de carros nas vias das cidades.

Observa-se, nos últimos anos, o grande aumento da frota de veículos no estado do Ceará, o que vem comprometer a malha viária da capital, com o surgimento de congestionamentos nas vias de circulação.

Assim, o nível de serviço prestado pelas empresas de transporte público tem um impacto indireto na quantidade de veículos nas vias por evitar que os usuários do transporte coletivo sintam necessidade de migrar para outros meios de transporte. Logo, é necessário que se tenha uma atenção especial ao transporte público, para evitar o agravamento do que foi exposto.

O objetivo deste artigo é propor uma metodologia de visualização e avaliação dos gargalos existentes no sistema de transporte público de Fortaleza, definir a relação entre os mesmos, e delimitar ações, buscando aquelas que tenham impacto sobre o maior número de variáveis possíveis, relacionando estas ações e o impacto das mesmas sobre o sistema.

Neste sentido, o presente trabalho busca aplicar uma metodologia para diagnosticar, avaliar e buscar soluções para os gargalos existentes nos sistemas de transporte coletivo. Para tanto, utilizou-se o processo de raciocínio da ferramenta gerencial conhecida como Theory of Constraints (TOC), ou Teoria das Restrições, para identificação e avaliação dos gargalos no sistema de transporte e proposição de soluções para o mesmo.

Inicialmente, será abordada a ferramenta utilizada, Teoria das Restrições, seguido pelo estudo de caso, com a aplicação desta ferramenta para proposição de soluções para sistemas de transporte público.

## 2. TEORIA DAS RESTRIÇÕES

Cogan et al. (2007) entende que a Teoria das Restrições teve seu início com o estudo do físico israelense Eliyahu Goldratt, na década de 70, na logística durante o processo de produção, onde ele elaborou um método de administrar a produção. De acordo com Cabral et al. (2007) a TOC é uma ferramenta para gerenciamento de sistemas produtivos que trabalha com ações que visam atingir um objetivo específico, denominado meta.

Martins (2002, apud Noreen, 1996) entende que, em todo sistema, existe pelo menos, uma restrição. Logo, dentro dos sistemas de transporte coletivo não poderia ser diferente. De acordo com Santos et al. (2005), restrição é qualquer fator que funcione como um entrave para que se alcance um desempenho satisfatório em relação a meta estabelecida. Fazendo-se uma analogia com uma corrente, restrição seria o elo mais fraco. Costuma-se trazer por definição que “todo sistema possui pelo menos uma restrição ou que toda corrente possui sempre um elo mais fraco.” (GRANADOS e SOUZA, 2003). Assim, a restrição dentro dos transportes são os efeitos que causam uma ineficiência no sistema.

Santos et al. (2005) define dois tipos de restrição: “a primeira física, ou seja, restrição de recurso que engloba mercado, fornecedor, máquinas, materiais, pedido, projeto e pessoas sendo um gargalo um caso particular de restrição que tem capacidade insuficiente. Portanto, recurso gargalo seria aquele cuja capacidade é inferior à demanda colocada nele. Ao contrário, recurso não-gargalo é aquele cuja capacidade é maior que a demanda colocada nele, portanto não restringe a atuação do sistema. Existe ainda a restrição política, que é formada por normas, procedimentos e práticas usuais do passado”.

O processo de raciocínio desta metodologia é extremamente valioso na solução das devidas restrições provenientes de políticas, ou seja, este método é útil para o levantamento de soluções aos problemas de um sistema. Martins (2002) entende que o

processo de raciocínio desta metodologia proposta por Goldratt busca identificar os gargalos do sistema, definir os impactos dos mesmos sobre o sistema e ajuda a propor soluções, relacionando o impacto dela sobre o gargalo. Cabral et al. (2007) entendem que “a TOC disponibiliza um roteiro estruturado, objetivando desenhar cenários, formular estratégias e alicerçar soluções para os gargalos dos sistemas produtivos”. Assim, ela se configura como uma ferramenta que auxilia a identificação de restrições e adoção de soluções em sistemas, como os sistemas de transporte coletivo.

Santos et al. (2005) entendem que a TOC propõe, assim, uma seqüência coerente de passos que deveriam ser seguidos por qualquer organização que pretenda adentrar num processo focalizado de aprimoramento contínuo. Este modelo também vale para sistemas. Isto se dá através do enfoque de esforços em pontos certos de um sistema, ou seja, propor ações que causem impacto sobre o maior número possível de variáveis indesejáveis. Essa busca da otimização é baseada em cinco pontos básicos:

- Identificar a restrição do sistema;
- Decidir como explorar a restrição do sistema;
- Subordinar todas as decisões ao item anterior;
- Elevar a restrição do sistema; e
- Se num passo anterior a restrição for “quebrada”, voltar ao primeiro passo, mas não deixar que a inércia torne-se a restrição do sistema.

Para tanto, Martins (2002) entende que existem diversas ferramentas que auxiliam a implantação de cada etapa. Abaixo, seguem as ferramentas enumeradas pelo autor:

- Árvore da realidade atual;
- Diagrama de dispersão de nuvem;
- Árvore da realidade futura;
- Árvore de pré-requisitos;
- Árvore de transição.

O objetivo da árvore de realidade atual é identificar os gargalos do sistema, chamados efeitos indesejados, identificando a relação entre os mesmos dentro da estrutura de uma árvore. Martins (2002) entende que esta ferramenta ajuda a entender qual é o problema e qual a influência que uns tem sobre os outros.

A segunda ferramenta é o diagrama de dispersão de nuvens, é utilizado para a identificação das restrições reais que afetam o sistema. Martins (2002) entende que esta ferramenta auxilia a definição do resultado desejado pelo sistema. Assim, esta fase busca entender o gargalo crítico que causa os efeitos indesejáveis no sistema e propor a idéia central para a solução, através da delimitação de requisitos e pré-requisitos para a resolução do mesmo.

A terceira ferramenta busca traçar um paralelo entre as possíveis ações para solução de gargalos, chamadas injeções, e os efeitos desejáveis que ela causará no sistema em estudo. Martins (2002) entende que esta ferramenta é usada para verificar se a injeção proposta elimina os efeitos indesejáveis.

A quarta ferramenta é a árvore de pré-requisitos, buscando identificar as etapas para se alcançar a injeção proposta e levantar os obstáculos inerentes a cada etapa. Martins (2002)

advoga que esta ferramenta busca identificar os obstáculos existentes para cada etapa antes de se realizar a injeção proposta.

Por último, tem-se a árvore de transição, que define ações específicas para que sejam superados os obstáculos de cada injeção.

Assim, este processo de raciocínio da teoria das restrições pode ser tratada como uma metodologia para avaliação de problemas, definição as relações entre os mesmos, proposição de soluções através da definição de ações específicas e operacionais para a solução dos gargalos identificados. A TOC é uma ferramenta com aplicações em diversas áreas de conhecimento e pode auxiliar na avaliação e solução dos diversos tipos de gargalos em sistemas simples e complexos.

Neste sentido, o modelo proposto é aplicado no sistema de transporte público de Fortaleza. O tópico seguinte apresenta a caracterização deste sistema em estudo para que, no tópico subsequente, facilite a compreensão da aplicação do método.

### 3. SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO COLETIVO

Vasconcellos (2001) entende que este sistema de circulação é um elemento fundamental no deslocamento da força de trabalho das cidades, dada a separação física entre os locais de trabalho, estudo, moradia, lazer, dentre outros.

O mesmo autor define que este sistema de circulação envolve a estrutura de circulação, como as vias, calçadas e terminais e os meios de circulação, que envolve os veículos. Logo, o papel do Estado está relacionado em prover a estrutura e o serviço de transporte para a locomoção das pessoas.

Ferraz et al. (2004) entendem que a qualidade do transporte público urbano deve ter uma ampla dimensão, contemplando o nível de satisfação dos diversos atores do sistema: usuários, comunidade, governo, trabalhadores do setor e empresários do ramo. Assim, prestar um serviço de qualidade é propor ações que atingem uma grande parcela da sociedade. Vasconcellos (2001) vê que o grande responsável por este sistema é o Estado.

Ferraz et al. (2004) advogam que a satisfação dos desejos dos atores definidos do sistema é vital para a sustentabilidade do sistema pois, com a insatisfação de algum grupo, pode levar a um desequilíbrio do sistema.

O mesmo autor entende que existem doze fatores principais que determinam a qualidade do serviço prestado. São eles: acessibilidade, frequência de atendimento, tempo de viagem, lotação, confiabilidade, segurança, características do veículo, características dos locais de parada, sistema de informações, conectividade, comportamento dos operadores e estado das vias.

Ferraz et al. (2004) definem que a acessibilidade está ligada à facilidade de acesso ao local de embarque e desembarque nas viagens. A frequência está ligada ao intervalo de tempo de passagem de veículos. O tempo da viagem está relacionado ao tempo no interior do veículo. A confiabilidade está correlacionada com a confiança nos horários de partida e chegada dos veículos. A segurança está ligada aos acidentes envolvendo os veículos do transporte coletivo. A característica com veículo está ligada ao estado de conservação e acomodação dos passageiros. As características dos locais de parada visam acessibilidade e conforto destes locais. O sistema de informações está relacionado com a disponibilização das informações sobre as linhas de transporte. A conectividade está relacionada com interligação entre pontos distintos da cidade. O comportamento dos operadores está associado ao modo de dirigir e cortesia dos operadores. Por último, o estado da via, que está relacionado à qualidade do pavimento.

Com estes fatores, observaram-se as características negativas ligadas a estes quesitos para a identificação dos pontos falhos segundo a visão do autor. Estas características levantadas no sistema de transporte coletivo de Fortaleza foram realizadas segundo os fatores que determinam a qualidade do serviço prestado.

Vale ressaltar ainda que, segundo Ferraz et al. (2004), o nível de serviço está intimamente relacionado com o valor da tarifa, ou seja, um maior nível de serviço implica em tarifas maiores para a população.

No tópico seguinte é apresentada a aplicação do método da TOC para diagnosticar os problemas e propor soluções para os mesmos.

#### 4. APLICAÇÃO DO MÉTODO

A primeira etapa consiste na identificação dos chamados efeitos indesejáveis do sistema, que podem ser os problemas enfrentados pelo sistema. Para o levantamento dos mesmos, foram feitas entrevistas para a identificação da percepção de especialistas do setor e usuários deste tipo de transporte sobre os problemas do sistema de transporte coletivo urbano de Fortaleza. O Quadro 1 ilustra os chamados Efeitos Indesejáveis (EI) identificados. Estes efeitos indesejáveis culminam em um sistema de transporte público ineficiente. Tentou-se correlacionar os efeitos segundo os fatores que determinam a qualidade do serviço prestado.

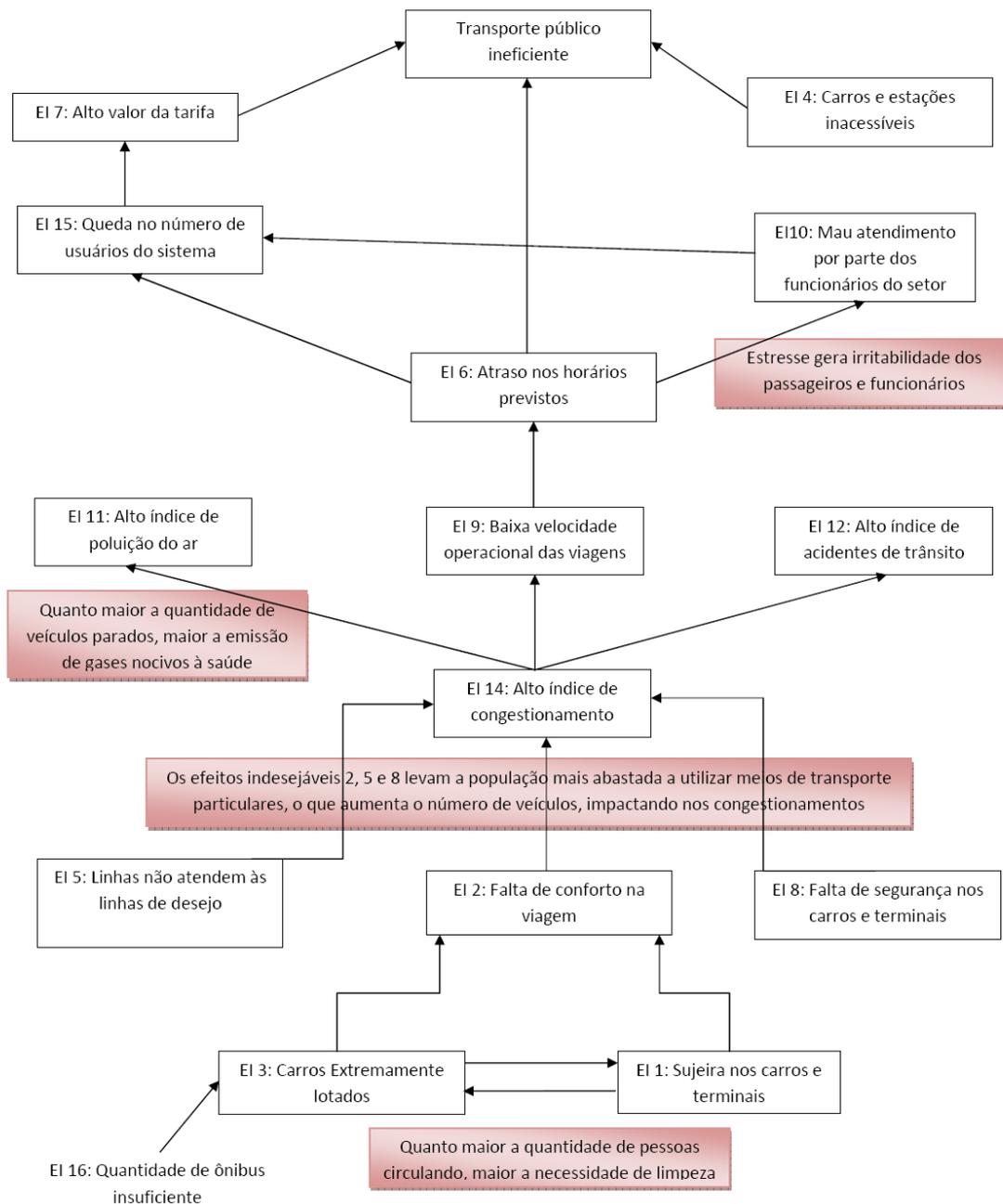
Quadro 1: Identificação dos Efeitos Indesejáveis

EI 1: Sujeira nos carros e terminais
EI 2: Falta de conforto na viagem
EI 3: Carros Extremamente lotados
EI 4: Carros e estações inacessíveis
EI 5: Linhas não atendem às necessidades da população
EI 6: Atraso nos horários previstos
EI 7: Alto valor da tarifa
EI 8: Falta de segurança nos carros e terminais
EI 9: Baixa velocidade operacional das viagens
EI10: Falta de cortesia por parte dos funcionários do setor
EI 11: Alto índice de poluição do ar
EI 12: Alto índice de acidentes de trânsito
EI 14: Alto índice de congestionamento
EI 15: Queda no número de usuários do sistema
EI 16: Quantidade de ônibus insuficiente

Fonte: Autores

Com a identificação destes efeitos indesejáveis, foi traçado um mapa das relações entre os efeitos, chamada árvore de realidade atual. Esta árvore mostra como acontece o relacionamento entre estes efeitos e qual a influência de uns sobre os outros. A Figura 2 ilustra a árvore obtida com efeitos identificados.

Figura 2: Árvore de Realidade Atual



Fonte: Autores.

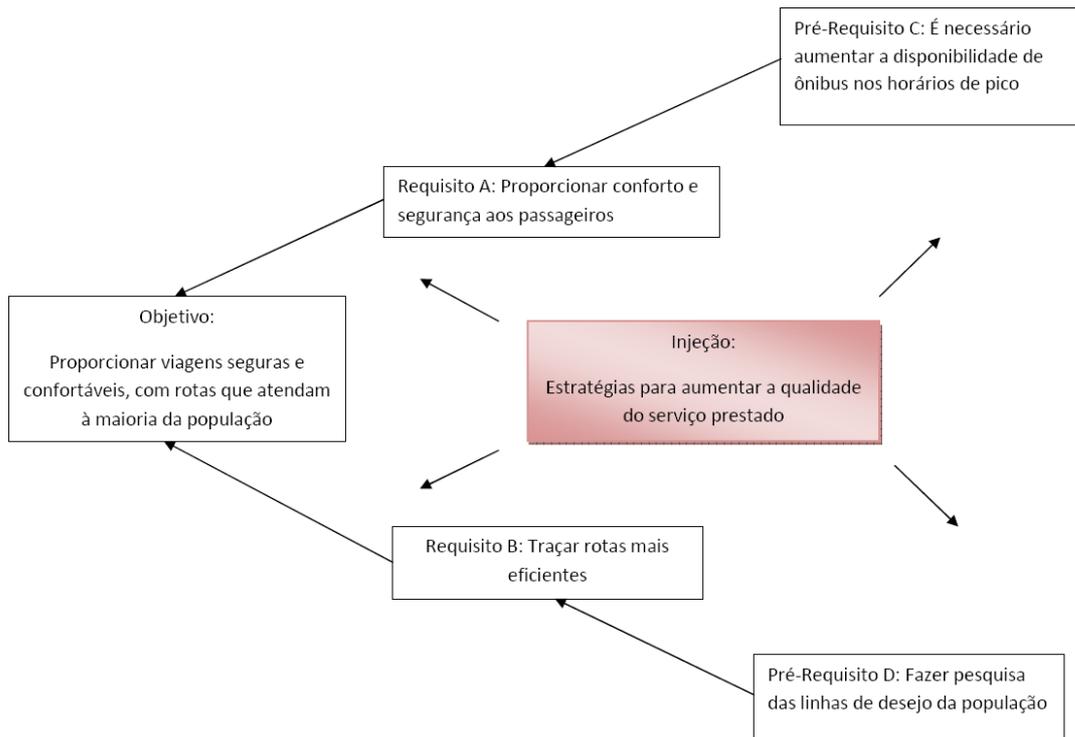
Por esta árvore, pode-se observar que vários efeitos estão interligados e alguns são raízes de outros. Um exemplo é o efeito indesejável do sistema 14, que é resultado indireto de cinco outros efeitos e é raiz de três efeitos posteriores na árvore.

A etapa seguinte é definir o principal gargalo a ser resolvido. Ele deve ser definido segundo os efeitos associados com a solução do mesmo. Assim, definiu-se que proporcionar viagens seguras, confortáveis nas rotas que atendam a maioria da população deve ser a meta a ser alcançada. Porém, para que isto seja alcançado, faz-se necessário que requisitos e pré-requisitos sejam previamente solucionados.

Para que estas metas sejam atingidas é necessário que seja definida a injeção, idéia básica a ser realizada. Pode-se observar que o nível de serviço prestado de transporte tem impacto direto no sistema como um todo. Portanto, se houver uma melhora na qualidade deste

serviço, e isto for realizado criteriosamente para priorizar o conforto e segurança do passageiro, o objetivo será alcançado. Isto é, utilizar de estratégias para melhorar a qualidade do serviço é a injeção que supera os pré-requisitos “aumentar a disponibilidade de ônibus nos horários de pico” e “pesquisa das linhas de desejo da população”, que é necessário para “proporcionar conforto e segurança aos passageiros” e “traçar rotas mais eficientes”, respectivamente, como requisitos para atingir o objetivo. A Figura 3 ilustra diagrama de dispersão de nuvens obtido.

Figura 3: Diagrama de dispersão de nuvens



Fonte: Autores.

Como passo seguinte, é elaborada a árvore de realidade futura, na qual são definidos os efeitos desejáveis, opostos aos indesejáveis, as injeções que devem ser estabelecidas no sistema e a relação entre os primeiros e os segundos. O Quadro 2 ilustra os efeitos indesejáveis e são estabelecidos os efeitos desejáveis, com origem dos efeitos indesejáveis.

Quadro 2: Efeitos desejáveis versus Efeito indesejáveis

EFEITOS INDESEJÁVEIS (EI)	EFEITOS DESEJÁVEIS (ED)
EI 1: Sujeira nos carros e terminais	ED 1: Carros limpos e conservados
EI 2: Falta de conforto na viagem	ED 2: Viagens confortáveis
EI 3: Carros com excesso de passageiros	ED 3: Carros com capacidade inferior ao limite
EI 4: Carros e estações inacessíveis	ED 4: Carros e estações acessíveis
EI 5: Linhas não atendem aos desejos da população	ED 5: Linhas de acordo com o desejo da população
EI 6: Atraso nos horários previstos	ED 6: Carros no horário previsto
EI 7: Alto valor da tarifa	ED 7: Preço de tarifa compatível

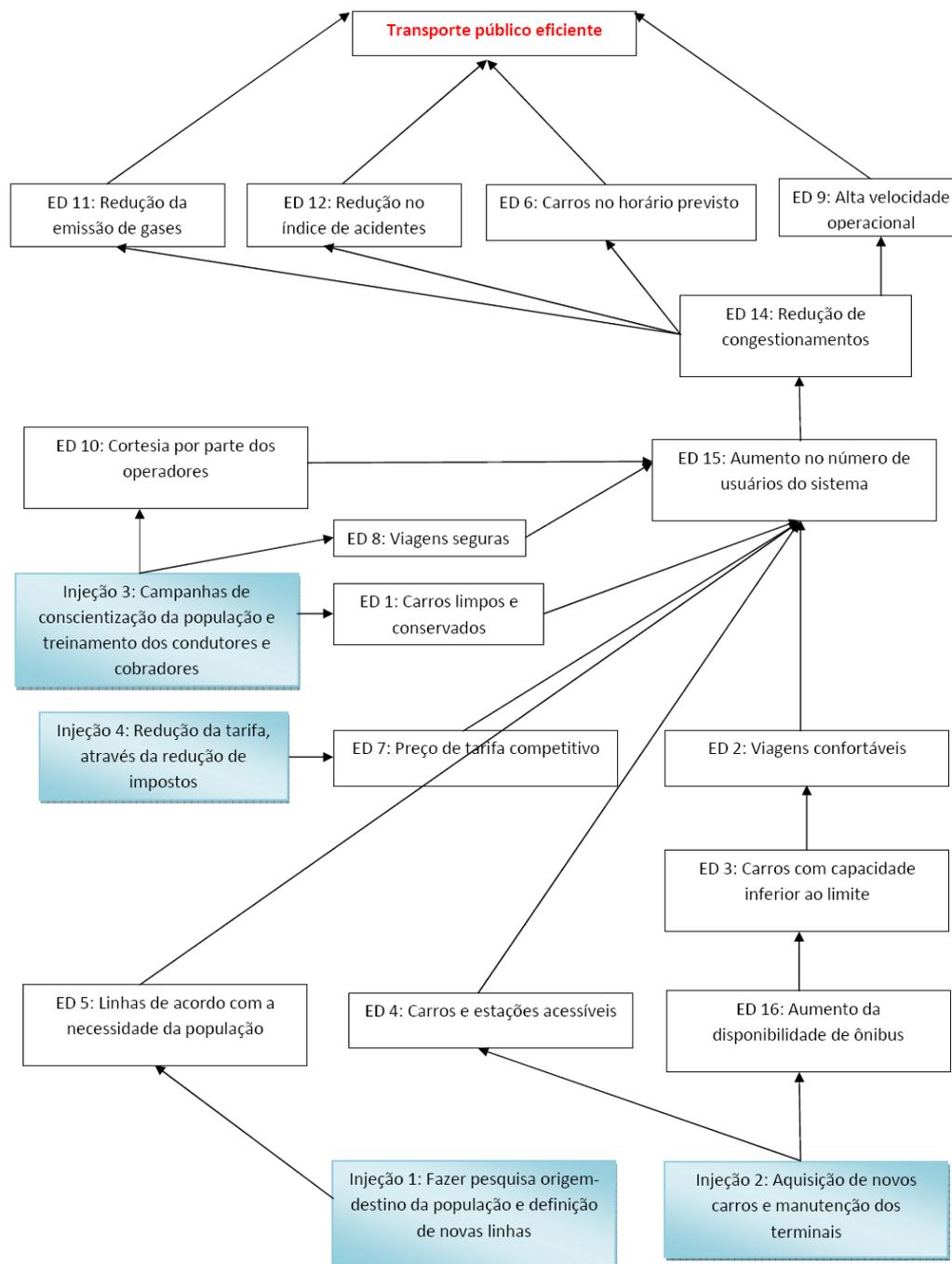
EI 8: Falta de segurança nos carros e terminais	ED 8: Viagens seguras
EI 9: Baixa velocidade operacional das viagens	ED 9: Alta velocidade operacional
EI10: Mau atendimento por parte dos funcionários do setor	ED 10: Cortesia por parte dos operadores
EI 11: Alto índice de poluição do ar	ED 11: Redução da emissão de gases
EI 12: Alto índice de acidentes de trânsito	ED 12: Redução no índice de acidentes
EI 14: Alto índice de congestionamento	ED 14: Redução de congestionamentos
EI 15: Queda no número de usuários do sistema	ED 15: Aumento no número de usuários do sistema
EI 16: Quantidade de ônibus insuficiente	ED 16: Aumento da disponibilidade de ônibus

Fonte: Autores.

Com o quadro acima descrito, é montada a árvore de realidade futura, que é a alocação de ações para o alcance dos efeitos desejáveis definidos. A Figura 4 ilustra a árvore de realidade futura, contendo as injeções propostas e os efeitos desejáveis decorrentes da aplicação destas medidas.

Um fato interessante a ser ressaltado é que uma injeção tem efeito em cadeia e influencia mais de um efeito desejável, que por sua vez, influencia outros efeitos desejáveis. Assim, algumas injeções são capazes de resolver muitos gargalos do sistema e promover alguns efeitos desejáveis.

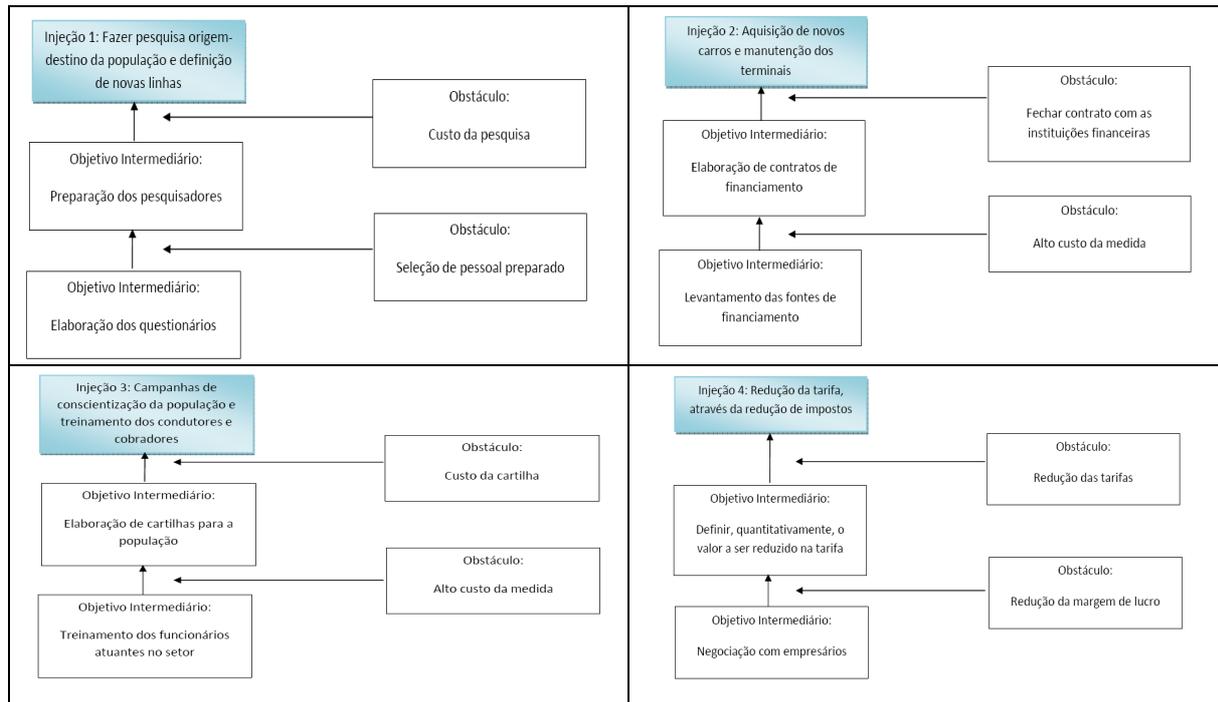
Figura 4: Árvore de Realidade Futura



Fonte: Autores

Porém, para que cada uma das injeções seja implantada, faz-se necessário identificar os obstáculos a cada injeção no sistema de transporte analisado. Assim, faz-se uso da ferramenta da Árvore de pré-requisitos, para a identificação dos obstáculos à realização da injeção. A Figura 5 ilustra esta etapa para cada uma das injeções utilizadas.

Figura 5: Árvore de pré-requisito para as injeções do sistema



Fonte: Autores.

O grande problema da injeção 1 consiste no alto custo para pesquisa das linhas de desejo da população. Este tipo de pesquisa é extremamente dispendioso e pode ser realizada através de uma pesquisa origem-destino da população.

O grande obstáculo a segunda injeção consiste se discutir com os órgãos das esferas administrativas o subsídio na aquisição de novos carros a fim de renovar a frota em circulação, com aquisição de veículos acessíveis. Outro obstáculo reside no levantamento de financiamento para a recuperação dos terminais, ampliação ou ainda construção de novos.

O obstáculo da injeção 3 reside em formar uma consciência social que os carros e terminais são da população e a depredação dos mesmos traz conseqüências somente para população.

Assim, com os obstáculos definidos, é necessário propor ações que superem os mesmos. Este é o objetivo da quinta fase do método apresentado, onde são elencados os objetivos intermediários para que se chegue às injeções e são propostas ações para cada uma destes objetivos. Estas ações devem ser práticas e pontuais.

Observou-se que o grande gargalo são os subsídios necessários que o governo deve dar a fim de melhorar o sistema de transporte coletivo. Faz-se necessário também a realização de campanhas educativas junto à população a fim de conscientizar a mesma da importância em se zelar pelos carros e terminais.

Assim, obtiveram-se quatro ações principais e pontuais para que se chegue ao objetivo-fim, otimizando o sistema de transporte analisado. Estas ações, se observadas, não têm relação direta com o objetivo-fim, mas, se realizadas, indicam para o sucesso da solução dos problemas do sistema.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou a aplicação dos princípios da ferramenta gerencial conhecida como Teoria das Restrições para a solução de problemas de transportes. Para tanto, foram utilizadas ferramentas em cada uma das etapas apresentadas no trabalho.

Inicialmente, foram identificados os chamados gargalos do sistema e os mesmos foram relacionados a fim de se observar a influência de uns sobre os outros. Assim, observou-se que esta ferramenta é um instrumento poderoso para visualização de problemas e a inter-relação entre os mesmos.

Esta metodologia é culminada na identificação de ações pontuais a serem realizadas para que a solução do sistema seja atingida. Cada ação tem impactos positivos nos chamados efeitos desejáveis, desencadeando uma reação em cadeia para a otimização do sistema como um todo.

Observa-se que muitas ações que devem ser tomadas aparentemente não têm relação direta com o sistema e são entendidas a medida que o método é exposto. Assim, conclui-se que esta ferramenta busca tornar objetivos gerais em ações práticas a serem tomadas no nível operacional.

Concluindo, o grande gargalo do sistema de transporte coletivo de Fortaleza consiste na avaliação das linhas de desejo da população e nível de conservação dos veículos e terminais, o que se transforma em uma potencial fuga da população para outros meios de transporte.

## 6. REFERÊNCIAS

DETRAN CE . Disponível em:

<http://www.detran.ce.gov.br/site/arquivos/estatisticas/VE%EDCULOS/2007/CDNDICE%20DE%20EVOLU%27%20MENSAL%20DA%20FROTA%202007.pdf>. Acessado em 25/03/2008

MARTINS, F. A. O processo de raciocínio da teoria das restrições na indústria moveleira de pequeno porte: um estudo de caso. Dissertação de mestrado. UFSC. Florianópolis, 2002.  
Vasconcellos, E. A. Transporte urbano, transporte e equidade. Análise das políticas públicas. 2 ed. São Paulo: Anna Blume, 2001

COGAN, S., RIBEIRO, R. A., MUNIZ, N.P., MUNCH, M.G. Teoria das Restrições aplicada a cadeia do gás. Seget 2007.

MARTINS, F. A. O processo de raciocínio da teoria das restrições na indústria moveleira de pequeno porte: um estudo de caso. Dissertação de mestrado. UFSC. Florianópolis, 2002.  
Santos, O. M., Silva, P. D. A., Furtado, K., G., Cogan, S. A teoria das restrições no processo de refino de petróleo...

GRANADOS, C. G. e SOUZA, F. B. Proposta de um modelo conceitual de análise de viabilidade econômica considerando a teoria das restrições e a teoria das opções reais. In Simpósio de Engenharia de Produção - SIMPEP, 10., 2003, Bauru. Anais... Bauru: UNESP, 2003. (CD ROM).

CABRAL, A. C. D., FLEURY, A. C.C. Competitividade Sistêmica: um modelo de análise de cenários para gestão de empresas. Revista Gestão Industrial. V. 03. Ponta Grossa, Paraná, 2007.

FERRAZ, A. C. C. P., TORRES, I. G. E. Transporte Público Urbano. 2 ed. São Carlos, São Paulo: Rima, 2004.