RBT

REVISTA BRASILEIRA DE TRANSPORTES

BRAZILIAN TRANSPORT JOURNAL

Vol. 1 #2 | DEZ 2021



FGV TRANSPORTES

A **Revista Brasileira de Transportes** - **RBT** é uma publicação para difusão científica, bilíngue, com periodicidade semestral, vinculada ao **FGV Transportes**, centro de estudos e pesquisas em transportes, logística e mobilidade urbana da **FGV**.
Para publicação na **RBT**, serão considerados artigos inéditos, que não devem estar sob avaliação de outro periódico, mesmo que em outro idioma, com a exceção de trabalhos apresentados em anais de congressos. O acesso ao conteúdo da **RBT** é aberto, sem cobrança de qualquer valor pecuniário para submissão ou publicação.
Visite a plataforma da **RBT** e submeta o seu artigo:
http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rbt/index.





The **Brazilian Transport Journal** (**Revista Brasileira de Transportes - RBT**) is a bilingual scientific jornal, published every six months, linked to the **FGV Transportes**, centre for studies and research in transport, logistics and urban mobility at the **Getulio Vargas Foundation** (**FGV**). Only unpublished papers will be considered by the **RBT** journal; they should not be under assessment by any other periodical, nor be written in any language other than Portuguese and English, except for papers presented in congress proceedings. Access to **RBT** content is open, with no fees charged for either submission or publication. Visit the **RBT** platform and submit your article: http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rbt/index.

REVISTA BRASILEIRA DE TRANSPORTES - RBT

PUBLICAÇÃO DO CENTRO DE ESTUDOS FGV TRANSPORTES
FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS – FGV

EQUIPE EDITORIAL

EDITOR CHEFE:
Marcus Vinícius Quintella Cury –
FGV Transportes

EDITOR EXECUTIVO:
Marcelo Prado Sucena – FGV Transportes

EDITORES TEMÁTICOS:
Alan Ricardo da Silva
Universidade de Brasília - UNB.

Álvaro Costa
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP, Portugal.

Fariya Sharmeen
KTH Royal Institute of Technology - Eindhoven, Sweden.

Gustavo Riente de Andrade
University of Florida Transportation Institute, USA.

Javier Aldecoa
Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, Spain

José Carlos Amorim
Instituto Militar de Engenharia - IME.

José Eugênio Leal
Pontifícia Universidade Católica - PUC-Rio.

Kent Gourdin
College of Charleston, USA.

Luiz Antonio Silveira Lopes
Instituto Militar de Engenharia - IME.

Luiz Eduardo Brandão
Pontifícia Universidade Católica - PUC-Rio/IAG.

Patrícia Regina Pinheiro Sampaio
Fundação Getúlio Vargas - FGV Direito.

Priscila Laczynski de Souza Miguel
Fundação Getúlio Vargas - FGV Celog/EAESP.

Respício Antonio do Espírito Santo Jr.
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ/POLI.

Rômulo Orrico
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ/COPPE.

Vânia Barcellos Gouvêa Campos
Instituto Militar de Engenharia – IME.

AVALIADORES CIENTÍFICOS *AD HOC*:
Amir Mattar Valente
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC – PPGTG.

Eduardo Lobo
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC – PPGTG.

Enilson Medeiros
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE.

Leonardo Herszon Meira
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE.

Peter Fernandes Wanke
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ/COPPEAD.

Renata Lúcia Magalhães de Oliveira
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET/MG.

Renata Maré
Universidade de São Paulo - USP/Escola Politécnica - Instituto Mauá de Tecnologia.

Richard Magdalena Stephan
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ/COPPE/POLI.

APOIO ADMINISTRATIVO:
Valdélia Brito

REVISÃO GRAMATICAL E ORTOGRÁFICA:
Jeferson Dantas

TRADUÇÃO E REVISÃO DE INGLÊS:
Patrícia Tate

DIAGRAMAÇÃO:
Bruno Masello e Carlos Quintanilha

REVISTA BRASILEIRA DE TRANSPORTES – RBT / FGV TRANSPORTES
Praia de Botafogo, 190 / 6º andar, Botafogo,
Rio de Janeiro, RJ, Cep. 22.250-900

Submissão de artigos:
http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rbt/about/submissions

E-mail:
rbt@fgv.br

Os conceitos, metodologias, métodos, técnicas e propostas expressas nos artigos publicados na RBT são de inteira responsabilidade de seus autores, não representando necessariamente a posição institucional da FGV.

Permitida a reprodução total ou parcial dos artigos, desde que mencionada a fonte.

BRAZILIAN TRANSPORT JOURNAL – RBT

PUBLICATION OF THE FGV TRANSPORTES STUDY CENTER
GETULIO VARGAS FOUNDATION - FGV

EDITORIAL TEAM

EDITOR IN CHIEF:
Marcus Vinícius Quintella Cury –
FGV Transportes, Brasil.

EXECUTIVE EDITOR:
Marcelo Prado Sucena – FGV Transportes, Brasil.

THEME EDITORS:
Alan Ricardo da Silva
University of Brasília (UNB), Brasil.

Álvaro Costa
Faculty of Engineering, University of Porto (FEUP), Portugal.

Fariya Sharmeen
KTH Royal Institute of Technology - Eindhoven, Sweden.

Gustavo Riente de Andrade -
University of Florida Transportation Institute, USA.

Javier Aldecoa
Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, Spain

José Carlos Amorim
Military Engineering Institute (IME), Brasil.

José Eugênio Leal
Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro (PUC-Rio), Brasil.

Kent Gourdin
College of Charleston, USA.

Luiz Antonio Silveira Lopes
Military Engineering Institute (IME), Brasil.

Luiz Eduardo Brandão
Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro (PUC-Rio/ IAG), Brasil.

Patrícia Regina Pinheiro Sampaio
Getulio Vargas Foundation (FGV Law), Brasil.

Priscila Laczynski de Souza Miguel
Getulio Vargas Foundation (FGV/Celog/EAESP), Brasil.

Respício Antonio do Espírito Santo Jr.
Rio de Janeiro Federal University (UFRJ/POLI), Brasil.

Rômulo Orrico
Rio de Janeiro Federal University (UFRJ/COPPE), Brasil.

Vânia Barcellos Gouvêa Campos
Military Engineering Institute (IME), Brasil.

SCIENTIFIC REVIEWERS AD HOC:
Amir Mattar Valente
Santa Catarina Federal University (UFSC/PPGTG), Brasil.

Eduardo Lobo
Santa Catarina Federal University (UFSC/PPGTG), Brasil.

Enilson Medeiros
Pernambuco Federal University (UFPE), Brasil.

Leonardo Herszon Meira
Pernambuco Federal University (UFPE), Brasil.

Peter Fernandes Wanke
Rio de Janeiro Federal University (UFRJ/COPPEAD), Brasil.

Renata Lúcia Magalhães de Oliveira
Federal Technological Education Center (CEFET/MG), Brasil.

Renata Maré
São Paulo University (USP/ Polytechnic School - Mauá Institute of Technology), Brasil.

Richard Magdalena Stephan
Rio de Janeiro Federal University (UFRJ/COPPE/POLI), Brasil.

ADMINISTRATIVE SUPPORT:
Valdélia Brito

PORTUGUESE SPELLING AND GRAMMAR REVIEW:
Jeferson Dantas

REVISION AND ENGLISH TRANSLATION:
Patrícia Tate

LAYOUT AND FINISHED ARTWORK:
Bruno Masello e Carlos Quintanilha

BRAZILIAN TRANSPORT JOURNAL – RBT / FGV TRANSPORTES
Botafogo Beach, 190 / 6th floor, Botafogo, Rio de Janeiro, RJ, Brazil, Postal Code 22.250-900

Submissions:
http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rbt/about/submissions

E-mail:
rbt@fgv.br

The concepts, methods, methodologies, techniques and proposals expressed in the articles published in the RBT are the sole responsibility of their authors, and do not necessarily represent the institutional position of FGV.

Total or partial reproduction of articles is allowed, provided the source is mentioned.



ARTIGO 2

REVISITANDO O MODELO DE LEILÃO LPVR PELA ABORDAGEM DE OPÇÕES REAIS

Carlos Bastian Pinto
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio

Naielly Marques
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio

RESUMO

Os leilões cujos lances são baseados no menor valor presente de receita, conhecidos como leilões LPVR (*Least Present Value of Revenue*), foram inicialmente considerados como uma solução para a melhor divisão do risco entre a concessionária e reguladores nas concessões de rodovias pedagiadas. No entanto, a sua implementação tem sido pouco frequente, principalmente devido à forte oposição das concessionárias que não veem uma compensação justa para a assimetria de risco de demanda. Revisamos e analisamos os leilões LPVR e outras abordagens semelhantes, como as concessões com prazo flexível (FTC – *Flexible Term Concessions*), e propomos um modelo de opções reais que leva em consideração as vantagens do LPVR, mas reduz a assimetria de risco através do tratamento das incertezas e flexibilidades de uma forma mais informativa e aplicável.

Palavras-chave: concessões, opções reais, infraestrutura.

ABSTRACT

Auctions where bids are based on the lowest present value of revenue, known as LPVR (Least Present Value of Revenue) auctions, were initially regarded as a solution to demand risk sharing between concessionaire and regulators in toll road concessions. Yet implementation has been infrequent, mostly because of the strong opposition by concessionaires who do not see an equitable compensation for the demand risk asymmetry. We review and analyze the LPVR auctions and other similar approaches, such as Flexible Term Concession (FTC), and propose a real options model that considers the advantages of the LPVR but reduces the risk asymmetry by treating the uncertainties and flexibilities in a more informative and applicable way.

Keywords: concessions, real options, infrastructure.

1. INTRODUÇÃO

A estrutura dos leilões LPVR (*Least Present Value of Revenue*) propõe que em vez de uma licitação reversa sobre o valor da tarifa (pedágio) ou pagamento de uma outorga ao governo, as empresas privadas devem competir no valor presente total das receitas que desejam adquirir ao longo da concessão de uma rodovia pedagiada (ENGEL, FISCHER e GALETOVIC, 2001). O leilão sob a lógica do LPVR, então, afirma que assim que esse valor for atingido, o prazo da concessão termina e os ativos voltam ao poder público.

O objetivo de um investidor privado ao participar de uma concessão de rodovia pedagiada é buscar o retorno do capital investido, considerando questões como o prazo de realização do investimento e, principalmente, o risco financeiro, que pode variar em função do ambiente regulatório, da incerteza da demanda ou do risco político do país. Isso geralmente se traduz em uma taxa de desconto ajustada ao risco, usada para tomar decisões de investimento baseadas na Taxa Interna de Retorno (TIR) ou no Valor Presente Líquido (VPL) do projeto. Outros aspectos que podem influenciar esses objetivos geralmente estão relacionados às flexibilidades gerenciais que podem estar presentes no projeto, como garantias governamentais, opções de abandono e de expansão, ou questões de investimento estratégico.

Por outro lado, o governo tem por objetivo o bem-estar público, seja tanto pela oferta de uma nova infraestrutura de transporte para a sociedade quanto uma outorga financeira da concessionária como lance de decisão, rendendo ao projeto o maior valor ofertado nos leilões. Outra forma de leilão praticada é a licitação reversa sobre o valor da tarifa (pedágio), onde se busca determinar a concessionária que aceitará o nível de renda mais baixo para seu investimento. Outros ainda consideram um pedágio pré-definido, mas com a concessionária competindo pelo menor prazo de concessão. Em todos esses casos, a concessão é atribuída ao candidato que aceita receber o menor valor de retribuição, contrário aos seus próprios interesses.

A proposta dos autores do modelo LPVR aponta que essas formas de leilão não alocam o risco corretamente entre as partes e que frequentemente os contratos são renegociados quando, por exemplo, a demanda é menor do que o esperado, afetando o retorno para a concessionária. Engel *et al.* (2001) argumentam que o LPVR garante o retorno para a concessionária e ao mesmo tempo maximiza a utilidade do regulador, visto que assim que o retorno do concessionário é obtido, a outorga volta para o regulador. Algumas das premissas desse modelo de leilão são revisadas por Nombela e De Rus (2004), mas os princípios básicos permanecem os mesmos e seu modelo também possui fragilidades no que diz respeito a sua implementação prática. Vassallo (2010a) mostra que o esquema LPVR traz uma assimetria no perfil de risco, uma vez que a cauda superior positiva da distribuição de retorno é limitada, enquanto a cauda inferior não. Portanto, os ganhos potenciais para a concessionária são substancialmente limitados, enquanto as perdas não o são.

Neste artigo, discutimos as premissas nas quais o LPVR baseia-se e propomos uma modelagem que considere os princípios do LPVR, mas trate as incertezas e flexibilidades de uma forma mais prática e informativa, através da metodologia

de opções reais. Isso permite modelar as flexibilidades e trazer uma forma de equilíbrio de alocação de risco para ambas as partes envolvidas, corrigindo a Este artigo está organizado da seguinte forma: após esta introdução, apresentamos uma revisão da literatura cobrindo o campo de estudo desta pesquisa. No Capítulo 3, comentamos e discutimos os princípios e aspectos do modelo LPVR mostrando suas vantagens, bem como suas falhas de implementação. No Capítulo 4, propomos um modelo de avaliação desse tipo de leilão baseado na abordagem de opções reais. Finalmente no Capítulo 5 concluímos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Engel *et al.* (2001) foram os primeiros a mostrar que os contratos de concessão com prazo fixo e pré-determinado não alocam o risco de demanda de forma otimizada. Neste estudo, eles propõem o modelo de leilão LPVR, que protege a incerteza de receita enfrentada pela concessionária por meio de um prazo contratual flexível. Se a demanda for baixa, o prazo da concessão é prorrogado e, se for maior do que o esperado, o prazo é reduzido. Nombela e De Rus (2004) estendem o modelo de leilão LPVR e propõem um novo tipo de leilão baseado em um contrato de prazo flexível e em lances de receita líquida total e de custos de manutenção, denominado *Least Present Value of Net Revenue* (LPVNR). Seus resultados mostram que esse mecanismo permite eliminar o risco de tráfego e promover a seleção de concessionárias mais eficientes.

Vassallo (2010b) avalia o efeito que a taxa de desconto, a qual é estabelecida pelo governo no modelo de leilão LPVR, tem no cálculo do risco de tráfego o qual é alocado à concessionária. Usando um modelo matemático, o autor encontra uma relação inversa entre essas duas variáveis e conclui que, embora o LPVR pareça uma abordagem muito interessante, sua implementação prática tem sido pouco frequente, principalmente devido à forte oposição por parte das concessionárias. Rouhani *et al.* (2018) analisam os principais mecanismos de compartilhamento de risco de receita desenvolvidos em todo o mundo. Em relação à abordagem do LPVR, os autores afirmam que este modelo de leilão permite reduzir a probabilidade de renegociações, mas pode não ser tão interessante para os agentes privados quando estes são responsáveis pela qualidade ou segurança das estradas, uma vez que nesse caso eles podem influenciar o nível de uso, e consequentemente, a sua receita.

Uma pesquisa desenvolvida por Vassallo (2010a) mostra que o principal motivo para a escassa implantação de contratos de prazo flexível está na forte oposição do setor privado em aceitar um mecanismo cujo perfil de risco é assimétrico, em que os ganhos potenciais para a concessionária são substancialmente limitados, enquanto as perdas potenciais não são limitadas no mesmo grau. Por exemplo, entre os 26 projetos de estradas que foram concedidos no Chile até 2006, apenas quatro foram licitados e apenas dois foram adjudicados com sucesso sob esta abordagem (VASSALLO, 2006). Segundo esse autor, a resistência em implementar esse mecanismo ocorre porque, para a concessionária, o modelo LPVR não melhora a capacidade do projeto de cumprir seus compromissos com os credores, torna a operação da concessão difícil de organizar, e limita a rentabilidade positiva da concessionária.

Albalate e Bel (2009) comparam os benefícios de permitir contratos de prazo flexível em vez de fixar um prazo rígido em projetos de concessão usando dados reais das mais antigas rodovias espanholas com pedágio. Seus resultados mostram que, se houver um aumento inesperado do tráfego, o prazo de concessão será menor, o que reduzirá drasticamente os benefícios do agente privado. Xiong, Zhang e Chen (2015) abordam a questão da compensação à concessionária em uma concessão rescindida antecipadamente. Os resultados mostram que este mecanismo pode melhorar a precisão da medição das incertezas presentes em um projeto de infraestrutura e fornecer um sistema de compensação justo para salvaguardar os benefícios dos agentes públicos e privados.

Carbonara, Costantino e Pellegrino (2014) argumentam que a determinação do período de concessão precisa ser gerenciada de forma a fornecer uma condição benéfica para ambas as partes envolvidas na concessão. Como solução, propõem um modelo baseado em simulação de Monte Carlo para determinar o período ótimo de concessão. Seus resultados demonstram que o período de concessão é capaz de garantir um lucro mínimo e uma alocação de risco justa. Jin *et al*. (2019) também desenvolveram um modelo que usa a simulação de Monte Carlo para atingir esse mesmo objetivo. Suas descobertas evidenciam que a duração ideal de um período de concessão deve ser longa o suficiente para controlar o lucro dos investidores privados dentro de uma faixa razoável, ao mesmo tempo em que consegue uma alocação justa do risco financeiro entre governos e investidores privados.

Em um trabalho que analisa especificamente as extensões de prazos de contratos, Contreras e Angulo (2018) usam a abordagem de opções reais para determinar o custo de oportunidade para o governo das extensões de prazos de concessão e concluem que esses custos podem ser elevados em alguns casos.

Além das prorrogações dos prazos dos contratos, Xiong e Zhang (2014) também analisam duas outras medidas de compensação como o reajuste de pedágio e o subsídio anual ou reajuste de pagamento unitário. Os autores desenvolvem um modelo de compensação quantitativa para avaliar se renegociações de contratos são viáveis em concessões, considerando que a demanda de tráfego futura e os custos de operação e manutenção são variáveis estocásticas. Eles concluem que o modelo proposto permite aos governos compararem diferentes medidas de compensação e selecionarem a mais adequada para cada projeto.

Jin *et al*. (2019) abordam o problema de otimização do nível de garantias de receita mínima (MRG – Minimum Revenue Guarantees) e a duração do período de concessão para atender aos interesses de ambas as partes, pública e privada, nos contratos de concessão. Eles propõem um modelo de negociação de informações imperfeito baseado na abordagem de opções reais e mostram que a duração do período de concessão é inversamente proporcional ao nível do MRG, e essa correlação é influenciada pela probabilidade de atingir a taxa de retorno de equilíbrio do investimento. Lv et al. (2014) também desenvolvem um método que considera opções reais e a teoria dos jogos para determinar o período de concessão ideal para projetos de concessão do tipo BOT (Build-Operate-Transfer) com subsídios governamentais. Usando um projeto chinês como exemplo numérico, eles descobrem que esse método permite definir o período de concessão ideal, especialmente quando subsídios do governo são necessários para tornar o projeto financeiramente viável.

Marques, Bastian-Pinto e Brandão (2021) argumentam que os contratos de infraestrutura flexíveis podem superar a dificuldade de prever com precisão como as condições de mercado e a demanda evoluirão ao longo do prazo da concessão. Nesse sentido, eles propõem um modelo que combina decisões de expansão de

capacidade com extensões de prazos condicionais e modelam essa flexibilidade sob a abordagem de opções reais e a incerteza do valor do projeto como uma Ponte Browniana. Seus resultados indicam que essas políticas podem ser úteis para atrair investimentos privados em projetos públicos de infraestrutura. Cruz e Marques (2013) também propõem um modelo de opções reais para avaliar os benefícios do desenvolvimento de um contrato flexível. Eles analisam o caso de uma concessão hospitalar e verificam se é possível encontrar uma estrutura contratual que maximize a relação custo-benefício quando as incertezas e flexibilidades são levadas em consideração na avaliação do projeto.

3. MODELO DE LEILÃO LPVR

Engel *et al* (2001) consideram que, devido à escassez de recursos, o governo necessita de investimentos privados para construção de infraestrutura, os quais são compensados por uma tarifa de uso da concessão por tempo definido. Eles também assumem que muitas vezes é desconsiderado o fato de que as previsões de tráfego de médio e longo prazo são muito imprecisas, o que leva a uma incerteza significativa da projeção de demanda. No entanto, o modelo é baseado em uma análise estática de demanda ao longo da vigência da concessão.

Eles argumentam que os princípios são válidos mesmo que a demanda seja afetada, e essa premissa é baseada no princípio da tarifa de congestionamento (*congestion toll*). De acordo com Engel et al. (2001), a tarifa de congestionamento é o preço que induz os motoristas a internalizarem o congestionamento de forma otimizada, na ausência de uma restrição de autofinanciamento. Por este princípio, a rodovia sempre será usada em sua capacidade máxima e isso é atingido definindo a esta em um nível que atrairá um número de motoristas próximo ao congestionamento. Logo, sendo P* o pedágio de congestionamento e Q(P) a demanda correspondente, o valor presente das receitas (PVR) pode ser definido pela equação (1):

$$PVR = \int_0^T P^*Q(P)e^{-kt}dt \qquad (1)$$

Isso também pressupõe que o leilão é competitivo e que o vencedor terá que aceitar o menor valor possível de PVR. Também é esperado que esse valor seja igual ao valor a ser investido na concessão, I. Logo: PVR – I = 0, e o retorno do investimento será igual à taxa de desconto prevista pelo ente regulador (k).

O modelo considera que a rodovia será construída antes que a demanda Q se revele. Mas, como o equilíbrio acima deve ser mantido (PVR – I = 0), então, ao licitar o LPVR, o candidato à concessão assume o risco de superestimar ou subestimar o nível de demanda e, portanto, a capacidade da rodovia a ser construída. Ou seja, o valor de I. A única contribuição do regulador neste nível é que, no regulamento do leilão, ele define a taxa de desconto (k) pela qual as receitas serão descontadas, bem como os níveis de tarifa de congestionamento para os diferentes estados da demanda.

Uma das falhas desse modelo é que ele ignora a verdadeira estrutura de valorização do fluxo de caixa. Engel *et al.* (2001) assumem que as receitas são líquidas para a concessionária e que os custos de operação e manutenção são

comparativamente pequenos e que, por isso, podem ser ignorados.

Esse problema foi parcialmente corrigido por Nombela e De Rus (2004), que assumem apenas a estrutura de custos fixos em seu modelo revisado denominado LPVNR, e propõem que o problema acima seja corrigido, repassando para as concessionárias todo o risco de demanda. Eles afirmam que uma das características mais notáveis do leilão LPVNR é que as concessionárias não precisam depender de nenhuma estimativa de tráfego para calcular seus lances. Isso elimina o viés para a seleção de candidatos otimistas detectado nos leilões tradicionais de concessões.

No entanto, mesmo essa alternativa pode ser considerada irrealista. Para além dos custos fixos, qualquer operação de infraestrutura incorre em custos variáveis significativos, como impostos sobre o rendimento, depreciação e investimentos de manutenção que são necessários para manter a qualidade do serviço prestado. Mostraremos que apenas considerando os custos fixos, a proposição do modelo LPVR de nenhum risco para a concessionária no caso de menor demanda e, portanto, de longo prazo, não é verdadeira, pois isso pode render um VPL negativo.

O princípio do pedágio de congestionamento também é de difícil implementação, pois implica no seguinte efeito: se a demanda aumentar como efeito de maior bem-estar, a solução seria aumentar o pedágio, visando manter o congestionamento dentro da capacidade rodoviária original. A verdadeira proposta de bem-estar seria, neste caso, expandir a capacidade das estradas, mantendo as tarifas em um nível acessível. Do outro lado do espectro da demanda, se a demanda se revelar insuficiente para cobrir o retorno do investimento, a concessão durará para sempre. Novamente, isso não é do interesse público e nem é viável para a empresa privada, visto que, ao contrário do cálculo do LPVR (que considera apenas a receita), os fluxos de caixa provavelmente serão negativos, ou pelo menos abaixo do investimento realizado em valor presente. Portanto, nenhuma concessionária racional manterá tal empreendimento em andamento e provavelmente entrará em renegociações.

4. ABORDAGEM POR OPÇÕES REAIS

Diante disso, propomos desenvolver um modelo que considere alguns dos pontos positivos dos modelos de leilão LPVR ou LPVNR, mas que se ajuste a aspectos de implementação mais realistas.

Embora a demanda de tráfego Q seja uma variável importante de qualquer investimento em infraestrutura, ela é amplamente ignorada no investimento ex-ante no modelo LPVR. Isso não é apenas irreal, mas também impraticável, uma vez que a capacidade rodoviária projetada é resultado direto do investimento de capital e, portanto, será o principal impulsionador da oferta em qualquer leilão. Nesse sentido, nosso modelo deverá usar um processo estocástico para simular possíveis caminhos de realização futura do tráfego. Como é padrão na literatura (LI e CAI, 2017), assumimos que o tráfego segue um Movimento Geométrico Browniano (MGB), como mostra a equação (2):

$$dQ_t = \mu Q_t dt + \sigma_Q Q_t dz_t \quad (2)$$

onde dQ_t é a variação incremental do tráfego no intervalo de tempo dt; μ representa a taxa de crescimento esperada do tráfego σ_Q é a volatilidade do tráfego; e $dz_t = \varepsilon\sqrt{dt}$ representa o incremento padrão de Wiener, no qual $\varepsilon \approx N(0,1)$.

Em um segundo nível, nosso modelo considera as flexibilidades como opções reais com as quais a concessionária reagirá à demanda, ou às incertezas do mercado, maximizando não só o valor da concessionária, mas também a utilidade do regulador, já que seu objetivo principal deve ser o de prover infraestrutura no valor ou tarifa mais adequada. A principal consequência da incorporação de opções reais em um esquema de leilões LPVR é corrigir a assimetria de risco de demanda apontada por Vassallo (2010a), que parece ser o principal motivo da forte oposição do setor privado em aceitar tal esquema. Dada essa assimetria, separaremos o modelo em duas partes ou áreas: o lado negativo ou quando as coisas dão errado, e o lado positivo, quando as coisas vão melhor do que o esperado.

Entre esses dois cenários ou dentro de uma faixa razoável de incerteza, a divisão do risco de tráfego entre o regulador e a concessionária é dada pela abordagem LPVR ou uma de suas variantes. O termo flexível associado ao LPVR ajustará a pequena variação da realização total do tráfego, assumindo que duas outras variáveis do modelo foram adequadamente quantificadas. Estas são a demanda de tráfego inicial esperada para o primeiro período e sua taxa de crescimento, que afeta a capacidade rodoviária em termos de capacidade máxima de movimentação de tráfego, e determinará o investimento a ser feito pela concessionária. Embora isso geralmente seja uma determinação do regulador, uma estimativa de demanda errada terá consequências significativas que afetam ambos os lados. Um investimento de capital (CAPEX - *Capital Expenditure*) superior ao necessário resultará em uma rodovia superdimensionada, implicando em retorno insatisfatório, uma vez que o tráfego será insuficiente para gerar receitas para cobrir o capital investido. Ou, inversamente, uma estrada subdimensionada gerará mais receita do que o previsto, mas com congestionamento, o que é uma característica indesejável do ponto de vista do regulador.

Da mesma forma, a outra variável, a tarifa que será fixada pelo período de vigência, e que não foi objeto de licitação no leilão, deve ser adequada, e não conforme Engel *et al.* (2001) implicam, uma tarifa de congestionamento. Isso causaria congestionamento, como o nome sugere. E precisa ser um nível de tarifa que capture o tráfego de demanda no início do período de concessão Q0, bem como por uma duração adequada deste, ainda que haja um crescimento do mesmo. Portanto, supondo que essas quantidades tenham sido estimadas corretamente, o leilão LPVR ainda está sujeito a duas situações diametralmente opostas, dependendo de como a demanda de tráfego Qt venha a ser durante o período de concessão. Analisamos isso nas seções a seguir.

4.1 Demanda de tráfego *Q* significativamente menor do que o esperado

Nessa situação, é importante considerar o fato de que, do ponto de vista da concessionária, embora ela possa ter licitado a receita total esperada (LPVR), seu retorno virá dos fluxos de caixa resultantes. Além disso, devem contabilizar os custos de operação e manutenção, depreciação, impostos e demais desembolsos de caixa envolvidos na operação da rodovia, bem como o custo financeiro da dívida levantada para o CAPEX envolvido. Portanto, se Qt for significativamente menor do que o esperado, os fluxos de caixa resultantes

podem até ser negativos. Mas, bem antes desse ponto, eles provavelmente não resultarão em um VPL positivo quando, eventualmente, o LPVR for alcançado e a concessão retornada ao regulador.

Caso ocorra esse cenário, a concessionária certamente entrará em negociações buscando algum tipo de indenização do regulador, ou mesmo o encerramento antecipado do projeto e, por vezes, defendendo uma indenização pelo seu capital investido que não atingiu um valor adequado de retorno. Nesses casos, Engel *et al.* (2001), Nombela e De Rus (2004) e Vassallo *et al.* (2010a) apontam que há uma propensão frequente do governo em atender a tais solicitações, visto que podem vir a ser, no mínimo, um constrangimento para ele, que tem como principal utilidade o fornecimento de infraestrutura adequada para o público.

É importante notar também que mesmo a rescisão antecipada é indesejável, pois implica na operação de um empreendimento não rentável, o que o regulador procurava evitar desde o momento em que decidiu outorgar a operação às concessionárias. A possibilidade de ocorrer essa situação é um risco que deve ser considerado pela concessionária, o qual aumentará seu custo de capital ou o LPVR no leilão, afetando todos os concorrentes interessados no projeto a ser concedido. Como resultado, os valores médios dos lances de LPVR serão maiores e isso acaba sendo um recurso indesejável para o regulador também.

Logo, estamos propondo um modelo de rescisão antecipada de concessão baseado não em prazo, visto que a abordagem LPVR não considera diretamente um prazo, mas sim num valor de compensação para a concessionária que considera o tráfego da rodovia como uma incerteza estocástica. A compensação deverá ser tratada como uma opção real de venda americana sobre o LPVNR (NOMBELA e DE RUS, 2004).

Vassallo *et al.* (2010a) apontam que o modelo de leilão LPVR tem a virtude de quantificar tal compensação. Mas isso pode criar um incentivo para rescisão antecipada dado que o valor dessa compensação diminui à medida que aumenta a receita em valor presente. Portanto, devemos incorporar uma penalidade financeira para a indenização por rescisão antecipada, na forma contratual sugerida por Marques et al. (2021). Dessa maneira, uma rescisão muito precoce não renderá nenhuma compensação e, conforme o tempo ultrapassa uma determinada marca, a compensação começa a se acumular até atingir o "valor justo" do LPVNR restante necessário para atingir o valor ofertado no leilão. Esta marca de tempo para o início da compensação pode até mesmo ser declarada nas cláusulas de responsabilidade das regras do leilão.

4.2 Demanda de tráfego *Q* significativamente maior do que o esperado

Este é o caso oposto do capítulo anterior e lida com o lado positivo da incerteza da demanda. Em leilões do tipo LPVR, há uma assimetria significativa na distribuição de risco nesse caso, pois os resultados menores são ônus da concessionária, mas os retornos maiores são limitados pelo mecanismo do leilão. Mostramos que o LPVR pretende compensar a menor demanda em um prazo mais longo, não suportando a redução de risco pretendida. Mas, no cenário de maior demanda, à medida que maiores receitas surgem, isso também limita o aspecto de "risco bom" do projeto, pois antecipa o término da concessão. Portanto, a questão da assimetria discutida por Nombela e De Rus (2004) evita a compensação do risco de queda da demanda.

Outra questão importante não considerada nos modelos LPVR é o fato de o investimento rodoviário ter sido programado para um volume de demanda esperado Q e, mesmo com um aumento esperado dessa demanda antecipada, há um limite de capacidade de tráfego acima do qual ocorrerá congestionamento e a concessionária não será capaz de arrecadar receitas mais altas correspondentes. Este limite de capacidade de tráfego é geralmente tratado como uma barreira absorvente sobre o processo estocástico definido na equação (2), o que limita o lado positivo da receita que pode ser obtida. Embora esse limite aparentemente não afete o retorno total da concessionária, visto que o mecanismo LPVR aumentará proporcionalmente o prazo da concessão até que o valor da licitação seja atingido, ele tem duas desvantagens. A primeira é que isso causará congestionamento devido ao limite de capacidade da rodovia, que é um aspecto negativo da perspectiva do regulador. E a segunda é que, à medida que a demanda aumenta, há uma necessidade de expansão da capacidade das rodovias. No entanto, como é o caso de vários projetos de concessão, o mecanismo LPVR impede a concessionária de investir em expansão de capacidade, por maior que seja essa demanda inesperada.

A solução para essa assimetria de risco é incorporar uma opção de expansão de capacidade, na forma sugerida por Marques *et al.* (2021), em que a concessionária tem o direito, mas não a obrigação, de "comprar" mais prazo de concessão por meio de investimentos na expansão da capacidade rodoviária. Isso pode ser adaptado a uma estrutura como a do LPVR ou LPVNR, onde a concessionária tem o direito de "comprar" um segundo nível de LPVR ou LPVNR a partir de um investimento em expansão de capacidade. Essa flexibilidade pode ser modelada como uma opção real de compra americana. Embora o exercício de opção seja uma flexibilidade à disposição da concessionária, por estar incorporada nas regras do leilão inicial, o valor correspondente reflete-se nos lances oferecidos pelos candidatos à concessão.

Portanto, ao incorporar essas opções reais de venda e compra na estrutura do LPVR ou do LPVNR, não apenas a assimetria original destes modelos de leilão pode ser corrigida, mas também o valor da concessão é aumentado, visto que tanto o agente privado quanto o público veem o risco associado ao congestionamento reduzido.

5. CONCLUSÕES

Neste artigo, analisamos o modelo de leilões de concessão rodoviária conhecida como LPVR, proposto inicialmente por Engel et al. (2001), que tem como objetivo eliminar o risco da concessionária garantindo a esta o valor presente da receita futura previamente acordada. A abordagem parece bastante interessante tanto para a concessionária quanto para o poder concedente, na medida em que oferece uma alternativa ganha-ganha à concessão.

Apesar de suas aparentes vantagens, observa-se que este modelo não tem sido utilizado na prática. Um dos principais problemas de modelos de concessão rodoviária é a questão da incerteza sobre o nível de demanda futura. Como o LPVR baseia-se em um modelo estático de demanda de tráfego, ele não considera possíveis incertezas nas receitas e, consequente, no fluxo de caixa do projeto, o que gera uma assimetria dos retornos para as partes envolvidas.

Em função dessa assimetria, caso o nível de demanda fique muito abaixo do esperado, o risco é todo absorvido pela concessionária, que pode ver o seu contrato estendido por muitos anos mesmo que o projeto apresente fluxos de caixa baixos ou até mesmo negativos. Por outro lado, caso o nível de demanda fique muito acima do esperado, o contrato tem seu término antecipado, impossibilitando a concessionária de se beneficiar desse cenário favorável.

Para corrigir esse problema, propomos um modelo estocástico de demanda baseado na abordagem de opções reais. Caso o nível de demanda esteja abaixo do esperado, o modelo prevê que a concessionária poderá exercer uma opção de abandonar o projeto por um valor prefixado de tal forma que esta não tenha um incentivo ao abandono antecipado. E, caso o nível de demanda esteja acima do esperado, o modelo prevê que a concessionária poderá exercer uma opção de expandir o projeto, adquirindo mais receita em valor presente a partir de um investimento.

Com o aperfeiçoamento proposto, acreditamos que os benefícios dos leilões do tipo LPVR podem ser aproveitados por ambas as partes envolvidas (poder concedente e concessionária), fazendo deste um modelo de alta aplicabilidade em concessões rodoviárias. Pesquisas futuras podem ampliar a discussão sobre a aplicação da abordagem de opções reais na avaliação de projetos concedidos através de lances baseados no menor valor presente de receita.

6. BIBLIOGRAPHICAL REFERENCES

ALBALATE, Daniel; BEL, Germà. Regulating concessions of toll motorways: An empirical study on fixed vs. variable term contracts. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 43, n. 2, p. 219-229, 2009.

CARBONARA, Nunzia; COSTANTINO, Nicola; PELLEGRINO, Roberta. Concession period for PPPs: A win–win model for a fair risk sharing. **International Journal of Project Management**, v. 32, n. 7, p. 1223-1232, 2014.

CONTRERAS, Carlos; ANGULO, Julio. Government cost of extending concession term rights. **Journal of Infrastructure Systems**, v. 24, n. 3, p. 04018011, 2018.

CRUZ, Carlos Oliveira; MARQUES, Rui Cunha. Flexible contracts to cope with uncertainty in public–private partnerships. International **Journal of Project Management**, v. 31, n. 3, p. 473-483, 2013.

ENGEL, Eduardo MRA; FISCHER, Ronald D.; GALETOVIC, Alexander. Least-present-value-of-revenue auctions and highway franchising. **Journal of Political Economy**, v. 109, n. 5, p. 993-1020, 2001.

JIN, Hongyu et al. Optimizing the concession period of PPP projects for fair allocation of financial risk. **Engineering, Construction and Architectural Management**, 2019.

JIN, Hongyu et al. Determining concession periods and minimum revenue guarantees in public-private-partnership agreements. **European Journal of Operational Research**, 2019.

LI, Shuai; CAI, Hubo. Government incentive impacts on private investment behaviors under demand uncertainty. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 101, p. 115-129, 2017.

LV, Junna et al. Alternative model for determining the optimal concession period in managing BOT transportation projects. **Journal of Management in Engineering**, v. 31, n. 4, p. 04014066, 2015.

MARQUES, Naielly Lopes; BASTIAN-PINTO, Carlos de Lamare; BRANDÃO, Luiz Eduardo Teixeira. Crossing the Brownian Bridge: valuing infrastructure capacity expansion policies as real options. **Construction Management and Economics**, v. 39, n. 3, p. 261-276, 2021.

NOMBELA, Gustavo; DE RUS, Ginés. Flexible-term contracts for road franchising. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 38, n. 3, p. 163-179, 2004.

ROUHANI, Omid M. et al. Revenue-risk-sharing approaches for public-private partnership provision of highway facilities. **Case Studies on Transport Policy**, v. 6, n. 4, p. 439-448, 2018.

VASSALLO, Jose M. Traffic risk mitigation in highway concession projects: the experience of Chile. **Journal of Transport Economics and Policy (JTEP)**, v. 40, n. 3, p. 359-381, 2006.

VASSALLO, José Manuel. Flexible-term highway concessions: how can they work better?. **Transportation Research Record**, v. 2187, n. 1, p. 22-28, 2010a.

VASSALLO, José Manuel. The role of the discount rate in tendering highway concessions under the LPVR approach. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 44, n. 10, p. 806-814, 2010b.

XIONG, Wei; ZHANG, Xueqing. Concession renegotiation models for projects developed through public-private partnerships. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 140, n. 5, p. 04014008, 2014.

XIONG, Wei; ZHANG, Xueqing; CHEN, Hongyu. Early-termination compensation in public–private partnership projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 142, n. 4, p. 04015098, 2016.



ARTICLE 2

REVISITING THE LPVR AUCTION MODEL THROUGH THE REAL OPTIONS APPROACH

Carlos Bastian Pinto
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio

Naielly Marques
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio

ARTICLE 2

RESUMO

Os leilões cujos lances são baseados no menor valor presente de receita, conhecidos como leilões LPVR (*Least Present Value of Revenue*), foram inicialmente considerados como uma solução para a melhor divisão do risco entre a concessionária e reguladores nas concessões de rodovias pedagiadas. No entanto, a sua implementação tem sido pouco frequente, principalmente devido à forte oposição das concessionárias que não veem uma compensação justa para a assimetria de risco de demanda. Revisamos e analisamos os leilões LPVR e outras abordagens semelhantes, como as concessões com prazo flexível (FTC – *Flexible Term Concessions*), e propomos um modelo de opções reais que leva em consideração as vantagens do LPVR, mas reduz a assimetria de risco através do tratamento das incertezas e flexibilidades de uma forma mais informativa e aplicável.

Palavras-chave: concessões, opções reais, infraestrutura.

ABSTRACT

Auctions where bids are based on the least present value of revenue, known as LPVR (Least Present Value of Revenue) auctions, were initially regarded as a solution to demand risk sharing between concessionaire and regulators in toll road concessions. However, implementation has been infrequent, due mainly to strong opposition from concessionaires, which do not see any equitable compensation for the demand risk asymmetry. We review and analyse LPVR auctions and other similar approaches, such as Flexible Term Concession (FTC), and propose a real options model that encompasses the advantages of the LPVR while reducing risk asymmetry by treating uncertainties and flexibilities in a more informative and applicable manner.

Keywords: concessions, real options, infrastructure.

1. INTRODUCTION

The Least Present Value of Revenue (LPVR) auction structure proposes that, instead of a reverse auction based on toll value or payment of a concession fee to the government, privately-held companies should bid on the total present value of the revenues that they wish to earn during a toll road concession (ENGEL, FISCHER and GALETOVIC, 2001). Consequently, an auction conducted under LPVR logic affirms that the term of the concession ends as soon as this amount is reached, with the assets returning to the government.

The LPVR (Least Present Value of Revenue) auction structure proposes that instead of a reverse bid on the value of the tariff (toll) or payment of a fee to the government, private companies should compete on the total present value of the revenues they wish to acquire over the course of a toll road concession (ENGEL, FISCHER and GALETOVIC, 2001). The auction under the LPVR logic, then, states that once this value is reached, the concession term ends, and the assets revert to the public authority.

When bidding on a toll road concession, the purpose of a private investor is to seek returns on invested capital, taking into account issues such as the term of the investment and, more particularly, the financial risk. This may vary, depending on the regulatory context, the uncertainty of demands, or a country's political risk, which usually translates into a risk-adjusted discount rate that is used to steer investment decisions based on the project's Internal Rate of Return (IRR) or Net Present Value (NPV). Other aspects that might influence these goals are usually related to possible management flexibilities in the project, such as government guarantees, abandonment and expansion options, or strategic investment issues.

On the other hand, the government is focused on public well-being, pursued through either providing society with new transportation infrastructure, or a financial award to the concessionaire as a decision bid, assigning the project the highest amount offered in the auctions. Another type of auction is reverse bidding on the toll value, seeking to define the concessionaire that will accept the lowest level of income on its investment. Others are based on a pre-set toll, but with the bidders competing for the shortest concession term. In all these cases, the concession is awarded to the bidder accepting the lowest payback, undermining its own interests.

The authors of the LPVR model suggest that these types of auctions do not allocate risk correctly between the parties, with contracts often renegotiated, for example when demand is lower than expected, with adverse effects on returns for the concessionaire. Engel et al. (2001) argue that the LPVR guarantees a payback for the concessionaire, while at the same time maximizing the usefulness of the regulator, as the concession returns to the regulator as soon as the concessionaire earns its planned payback. Some of the assumptions in this auction model have been revised by Nombela and De Rus (2004), but the basic principles remain unchanged, and their model also has weaknesses related to its practical implementation. Vassallo (2010a) shows that the LPVR scheme introduces an asymmetry to the risk profile, and the positive upper tail of the payback distribution is limited, while the lower tail is not. The potential gains for the concessionaire are substantially limited, while the losses are not.

In this paper, we discuss the assumptions on which LPVR is based and propose modelling that encompasses LPVR principles, while treating uncertainties and flexibilities in a more practical and informative manner, through the real options methodology. This allows flexibilities to be modelled, while introducing a form of risk allocation balance for both parties involved, correcting the asymmetry mentioned by Vassallo (2010a).

This paper is organised as follows: this Introduction is followed by a Review of the Literature covering the field of study for this research. Chapter 3 discusses and comments on the principles and aspects of the LPVR model, displaying its advantages as well as its implementation hurdles. Chapter 4 proposes an assessment model for this type of auction, based on the real options approach. The Conclusion is presented in Chapter 5.

2. REVIEW OF THE LITERATURE

Engel et al. (2001) were the first to show that concession contracts with pre-set fixed terms do not allocate demand risk in an optimized manner. In their study, they suggest the LPVR auction model, which hedges the revenue uncertainties faced by the concessionaire through a flexible contract term. If demand is low, the concession term is extended; if it is higher than expected, the term is shortened. Nombela and De Rus (2004) extended the LPVR auction model and proposed a new type of auction based on a flexible term contract with total net revenues and maintenance cost bidding, called Least Present Value of Net Revenue (LPVNR). The findings show that this mechanism allows the elimination of traffic risk, while encouraging the selection of more efficient concessionaires.

Vassallo (2010b) assesses the effect of the discount rate (which is set by the government in the LPVR auction model) on the calculation of the traffic risk allocated to the concessionaire. Using a mathematical model, this author finds an inverse relationship between these two variables, concluding that, although the LPVR appears to be a very interesting approach, its practical implementation has been infrequent, due mainly to strong opposition from concessionaires. Rouhani et al. (2018) analysed the main revenue risk-sharing mechanisms that have been developed around the world. Regarding the LPVR approach, these authors state that this auction model helps lessen the probability of renegotiations. However, this might not be as interesting for private agents when assigned responsibility for highway quality or safety, as this allows them to influence usage levels and consequently their incomes.

A research project conducted by Vassallo (2010a) shows that the main reason for the sparse implementation of flexible term contracts lies in strong opposition from the private sector, which is unwilling to accept a mechanism with an asymmetrical risk profile, where potential gains for concessionaires are substantially capped, while potential losses are not limited to the same extent. For example, among the 26 highway projects that were awarded in Chile until 2006, only four were tendered out and only two were successfully awarded using this approach (VASSALLO, 2006). According to this author, resistance to implementing this mechanism is underpinned by the fact that concessionaires feel that the LPVR model does not improve project's ability to

meet its commitments to creditors, while hampering the efficient organisation of concession operations, and curtailing the positive profitability of concessionaires.

Albalate and Bel (2009) compare the benefits of allowing flexible term contracts rather than establishing a fixed term for concession projects, using real data from Spain's oldest toll roads. Their findings indicate that concession terms are shorter when traffic increases unexpectedly, slashing the benefits for private agents. Xiong, Zhang, and Chen (2015) address the issue of compensation for concessionaires when concessions terminate early. The findings show that this mechanism can enhance the accuracy of measuring the uncertainties inherent to an infrastructure project, providing a fair compensation system that safeguards the benefits for both public and private agents.

Carbonara, Costantino, and Pellegrino (2014) argue that defining the duration of a concession must be managed in a manner that offers beneficial conditions for both parties involved in the award. As a solution, they suggest a model based on a Monte Carlo simulation for defining the optimal concession period. Their findings indicate that the concession period can ensure minimum profits and fair risk allocation. Jin et al. (2019) also developed a model using a Monte Carlo simulation to achieve the same goal. Their findings show that a concession should optimally last long enough to keep private investor profits within a reasonable range, while achieving a fair allocation of financial risk between governments and private investors.

In a paper looking specifically at contract term extensions, Contreras and Angulo (2018) use the real options approach to define opportunity costs of concession term extensions for governments, concluding that these outlays may be high in some cases. In addition to contract term extensions, Xiong and Zhang (2014) also analyse two other compensation measures, including toll adjustments and annual subsidies or unit payment adjustments. The authors present a quantitative compensation model for assessing whether contract renegotiations are feasible for concessions, particularly as future traffic demands and operations and maintenance costs are stochastic variables. They conclude that the proposed model allows governments to compare different compensation measures, selecting the most appropriate option for each project.

Jin et al. (2019) address the problem of optimizing Minimum Revenue Guarantee (MRG) levels and concession durations, in ways that respond to the interests of both public and private parties in concession contracts. They present an imperfect information trading model based on the real options approach, showing that concession duration is inversely proportional to the MRG level, with this correlation influenced by the probability of achieving the break-even rate of return on investment. Lv et al. (2014) also develop a method based on real options and game theory that defines the optimal concession duration for Build-Operate-Transfer (BOT) concession projects with government subsidies. Using a Chinese project as a numerical example, they found that this method allows definitions of optimal concession durations, especially when government subsidies are needed to make projects financially feasible.

Marques, Bastian-Pinto, and Brandão (2021) argue that flexible infrastructure contracts can surmount difficulties in accurately predicting how market conditions and demand will evolve during the concession term. For this purpose, they present a model that combines capacity expansion decisions with conditional term extensions, modelling this flexibility through the real options approach, with project value uncertainty as a Brownian Bridge. Their findings show that these policies may be useful in

attracting private investments in public infrastructure projects. Cruz and Marques (2013) also propose a real options model for assessing the benefits of developing flexible contracts. Through analysing a hospital concession, they explore whether a contract structure can be found that maximizes cost-effectiveness, when uncertainties and flexibilities are taken into account in project evaluations.

3. LPVR AUCTION MODEL

Engel et al (2001) feel that scarce government funding drives the quest for private investments in infrastructure construction, subsequently compensated by a defined-term concession fee. They also assume that the fact that medium and long-term traffic forecasts are very imprecise is often overlooked, leading to significant uncertainties in demand forecasts. However, this model is based on a static analysis of demand throughout the duration of the concession.

They argue that the principles are valid, even if demand is affected, with this assumption based on the congestion toll principle. According to Engel et al. (2001), the congestion toll is the price that persuades drivers to accept optimized tailbacks, absent a self-financing constraint. According to this principle, the highway will always be used at its maximum capacity, and this is achieved by setting this metric at a level attracting a flow of drivers that is close to the congestion level.. Thus, with P* being the congestion toll and Q(P) being the corresponding demand, the Present Value of Revenues (PVR) can be defined through Equation (1):

$$PVR = \int_0^T P^* Q(P) e^{-kt} dt \quad (1)$$

This also assumes that the auction is competitive and that the winner will have to accept the least possible PVR value. It is also expected that this value will be equal to the amount to be invested in the concession I. Therefore: *PVR - I = 0*, and the return on investment will be equal to the discount rate predicted by the regulator (k).

The model assumes that the highway will be built before demand Q is revealed. However, as this equilibrium must be maintained (*PVR - I = 0*), then when the LPVR is tendered out, concession bidders accept the risk of overestimating or underestimating demand levels and consequently the capacity of the highway to be built. In other words the value of I. The only contribution from the regulator at this stage is the definition in the auction regulations of the discount rate (k) at which the revenues will be discounted, as well as the congestion toll levels for the different demand tiers.

One of the flaws of this model is that it ignores the true cash flow valuation structure. Engel et al. (2001) assume that revenues are net to the concessionaire, with comparatively low operating and maintenance costs that can thus be ignored.

This problem has been partially corrected by Nombela and De Rus (2004), who assume only the fixed cost structure in their revised model (LPVNR), proposing that this problem be corrected by transferring all demand risks to the concessionaires. They state that one of the most notable features of LPVNR auctions is that concessionaires need not rely on traffic estimates for calculating their bids. This eliminates the optimistic bidder bias detected in traditional concession auctions.

However, even this alternative may be considered unrealistic. In addition to fixed costs, any infrastructure operation incurs significant variable costs, such as income taxes, depreciation, and maintenance investments needed to uphold the quality of the services rendered. We will show that, by taking only the fixed costs into consideration, the LPVR model claim of no lower-demand risks for concessionaires and the resulting longer term is not accurate, as this may give rise to a negative NPV.

The congestion toll principle is also difficult to implement, as it triggers the following effect: if demand rises in response to greater well-being, the solution would be to increase the toll and keep traffic within the original highway capacity. In this case, the real social well-being solution would be to expand road capacity while keeping tolls at affordable levels. On the other side of the demand spectrum, if demand is too low to cover the return on investment, the concession will last forever. Again, this is not in the public interest. Neither is it feasible for a private company because – unlike the LPVR calculation (which considers only revenue) the cash flows are likely to be negative, or at least below the present value investment. Consequently, no rational concessionaire would continue to operate such a venture, and would probably seek renegotiations.

4. REAL OPTIONS APPROACH

We thus intend to develop a model that includes some of the positive aspects of the LPVR or LPVNR auction models, adapted to more realistic implementation expectations.

While Q traffic demand is an important variable for any infrastructure investment, it is largely ignored by the LPVR model for *ex-ante* investment. Not only unrealistic, this is also impractical, as projected highway capacity is a direct outcome of capital investment and is consequently the main bidding driver in any auction. Our model should thus use a stochastic process to simulate possible future traffic materialisation paths. As is standard in the literature (LI and CAI, 2017), we assume that traffic follows a Geometric Brownian Motion (GBM), as shown in Equation (2):

$$dQ_t = \mu Q_t dt + \sigma_Q Q_t dz_t \quad (2)$$

Where dQ_t is the incremental variation in traffic during the time interval dt; μ represents the expected traffic growth rate σ_Q is traffic volatility; and $dz_t = \varepsilon\sqrt{dt}$ represents the Wiener standard increase, where $\varepsilon \approx N(0,1)$.

At a second tier, our model considers flexibilities as real options through which the concessionaire will react to demands, or market uncertainties, maximizing not only the concessionaire's value, but also the usefulness of the regulator, whose purpose should be to provide infrastructure at the best price or toll. The main outcome of including real options in an LPVR auction scheme is to correct the demand risk asymmetry mentioned by Vassallo (2010a), which seems to be the main reason for strong private-sector opposition to this approach. Because of this asymmetry, we separate the model into two parts or areas: the negative side (when things go wrong), and the positive side (when things progress better than expected).

Between these two scenarios, or within a reasonable range of uncertainty, the traffic risk split between regulator and concessionaire is provided by the LPVR approach or one of its variants. The flexible term associated with the LPVR adjusts for minor variations in total traffic flows, provided that two other variables in the model have been properly quantified. These are the expected initial traffic demand for the first period, and its growth rate, which affects road capacity in terms of maximum traffic movement capacity, and will define where investments are allocated by the concessionaire. Although this is usually established by the regulator, a poly-calculated demand estimate will have significant consequences for both sides. Capital expenditures (CAPEX) that are higher than necessary will result in an oversized road, with unsatisfactory payback, as it will not carry enough traffic to generate the revenues needed to return the invested capital. Conversely, an undersized road will generate more revenues than expected, but with congestion, which is undesirable from the regulator's standpoint.

Similarly, the other variable is the tariff to be defined for the term. When not bid on in the auction, it must be adequate, rather than a congestion toll, as implied by Engel et al. (2001) This would cause congestion, as the name suggests. Furthermore, this toll level should capture demand traffic at the start of the concession period *Q0*, and for an adequate duration as well, despite possible growth. Thus, assuming these quantities have been estimated correctly, the LPVR auction is still subject to two diametrically opposed situations, depending on the traffic demand *Qt* during the concession period. This is analysed in the following sections.

4.1 Traffic demand Q significantly lower than expected

In this situation, it is important to consider the fact that, from the standpoint of the concessionaires, their paybacks will come from the resulting cash flows, although they may have bid on the total expected revenue (LPVR). Moreover, they must cover the operating and maintenance costs, depreciation, taxes, and other cash outlays involved in running a highway, as well as the financial costs of the debt resulting from the necessary CAPEX. So if Qt is significantly lower than expected, the resulting cash flows may even be negative. However, they will probably not be posting positive NPVs long before this point, with the concession returned to the regulator as soon as the LPVR is reached.

Should this scenario occur, the concessionaire will certainly enter into negotiations, seeking some sort of compensation from the regulator, or even early termination of the project, and sometimes claiming compensation for its invested capital that has not produced adequate returns. In such cases, Engel et al. (2001), Nombela and De Rus (2004) and Vassallo et al. (2010a) point out that there is a propensity for governments to comply with such requests quite frequently, as these situations can become an embarrassment to them, at the very least, as the main purpose is to provide adequate infrastructure for the public.

It is also important to note that even early termination is undesirable, as this indicates the operation of an unprofitable enterprise – which is precisely what regulators try to avoid, right from the moment they decide to award projects to concessionaires. The possibility of this situation occurring is a risk to be weighed by a concessionaire, increasing either its capital costs or the LPVR in the auction, and thus affecting all bidders interested in the tendered project. As a result, average LPVR bid values will be higher, which is undesirable for regulators as well.

We consequently propose a model for early termination of the concession that is based not on a specific period, as the LPVR approach does not directly consider time, but rather a compensation value

for concessionaires that views highway traffic as a stochastic uncertainty. The compensation should be treated as a real American put option over the LPVNR (NOMBELA and DE RUS, 2004).

Vassallo et al. (2010a) note that the LPVR auction model offers the advantage of quantifying this compensation. However, it might also create an early termination incentive, because the compensation value drops as the present value revenue increases. We should thus build a financial penalty for early termination compensation into the contract structure suggested by Marques et al. (2021). Consequently, very early termination yields no compensation,, which begins to accumulate as time passes a specific mark, until it reaches the "fair value" of the remaining LPVNR needed to reach the amount bid in the auction. This time marker for the start of compensation may even be stated in the liability clauses of the auction rules.

4.2 Traffic demand Q significantly higher than expected

This hypothesis is the opposite of the situation described in the previous chapter, addressing the upside of demand uncertainty. There is significant risk distribution asymmetry in LPVR-type auctions, as lower earnings outcomes burden the concessionaire, while higher payback is limited by the auction mechanism. We have shown that the LPVR is intended to offset lower demands over longer timeframes, not supporting the intended risk reduction. But in a higher demand context with higher revenues, this also limits the "good risk" aspect of the project, by bringing the concession termination forward. The asymmetry issue discussed by Nombela and De Rus (2004) thus prevents compensation for shrinking demand risks.

Another important issue not taken into consideration by LPVR models is the fact that highway investments are scheduled for an expected demand volume Q; despite an expected increase in forecast demands, there is a traffic capacity ceiling above which congestion occurs, so the concessionaire will not be able to collect correspondingly higher revenues. This traffic capacity limit is generally treated as an absorptive barrier for the stochastic process defined in Equation (2), capping the upside: revenues that can be collected. Although this limit does not seem to affect total payback to the concessionaire, as the LPVR mechanism extends the concession term proportionally until the bid value is reached, it has two disadvantages. First, it will cause congestion, due to the highway capacity ceiling, which is a negative aspect from the standpoint of the regulator. second, highway capacity must expand as demand rises. However, as is the case with many concession projects, the LPVR mechanism prevents the concessionaire from investing in capacity expansion, no matter how large this unexpected demand may be.

The solution to this risk asymmetry is to include a capacity expansion option, in the manner suggested by Marques et al. (2021): the concessionaire has the right (but not the obligation), to "buy" more concession time through investments in highway capacity expansion. This can be adapted to a structure like the LPVR or LPVNR, where the concessionaire has the right to "buy" a second tier of LPVR or LPVNR through capacity expansion investments. This flexibility may be modelled as an actual American call option. Although exercising the option is a flexible aspect open to the concessionaire (because it is included in the initial auction rules), the corresponding value is reflected in the amounts offered by bidders for the concession.

By building these real put and call options into the LPVR or LPVNR structure, not only can the original asymmetry of these auction models be corrected, but the concession value is also increased, with lower congestion risks for both private and public agents.

5. CONCLUSIONS

In this paper, we analyse the LPVR highway concession auction model, first proposed by Engel et al. (2001), which is designed to eliminate concessionaire risks by guaranteeing the present value of future revenues as agreed in advance. This approach seems quite interesting for both the concessionaire and the grantor, offering a win-win alternative for concessions.

Despite its apparent advantages, this model has not been used in practice. One of the main problems of highway concession models is the issue of uncertain future demand levels. As the LPVR is based on a static traffic demand model, it does not address possible variations in project revenues (and consequently cash flows), giving rise to asymmetrical returns for the parties involved.

Because of this asymmetry, if demand falls well below expectations, the entire risk is absorbed by the concessionaire, with the project contract extended for many years despite low or even negative cash flows. On the other hand, if demand is far higher than expected, the contract is terminated ahead of schedule, so the concessionaire fails to benefit from this favourable context.

As a solution to this problem, we propose a stochastic demand model based on the real options approach. If demand is lower than expected, the model allows the concessionaire to exercise a drop-out option at a pre-set value, ensuring that it has no incentive for early abandonment. If demand is higher than expected, the model allows the concessionaire to exercise a project expansion option by building up present value revenues from an investment.

With this proposed refinement, we believe that the benefits of LPVR-type auctions can be shared by both parties (grantor and concessionaire), making this model widely applicable for highway concessions. Future research may expand the discussion on the application of the real options approach in the evaluation of projects awarded through bids based on the least present value of revenues.

6. BIBLIOGRAPHICAL REFERENCES

ALBALATE, Daniel; BEL, Germà. Regulating concessions of toll motorways: An empirical study on fixed vs. variable term contracts. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 43, n. 2, p. 219-229, 2009.

CARBONARA, Nunzia; COSTANTINO, Nicola; PELLEGRINO, Roberta. Concession period for PPPs: A win–win model for a fair risk sharing. **International Journal of Project Management**, v. 32, n. 7, p. 1223-1232, 2014.

CONTRERAS, Carlos; ANGULO, Julio. Government cost of extending concession term rights. **Journal of Infrastructure Systems**, v. 24, n. 3, p. 04018011, 2018.

CRUZ, Carlos Oliveira; MARQUES, Rui Cunha. Flexible contracts to cope with uncertainty in public–private partnerships. International **Journal of Project Management**, v. 31, n. 3, p. 473-483, 2013.

ENGEL, Eduardo MRA; FISCHER, Ronald D.; GALETOVIC, Alexander. Least-present-value-of-revenue auctions and highway franchising. **Journal of Political Economy**, v. 109, n. 5, p. 993-1020, 2001.

JIN, Hongyu et al. Optimizing the concession period of PPP projects for fair allocation of financial risk. **Engineering, Construction and Architectural Management**, 2019.

JIN, Hongyu et al. Determining concession periods and minimum revenue guarantees in public-private-partnership agreements. **European Journal of Operational Research**, 2019.

LI, Shuai; CAI, Hubo. Government incentive impacts on private investment behaviors under demand uncertainty. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 101, p. 115-129, 2017.

LV, Junna et al. Alternative model for determining the optimal concession period in managing BOT transportation projects. **Journal of Management in Engineering**, v. 31, n. 4, p. 04014066, 2015.

MARQUES, Naielly Lopes; BASTIAN-PINTO, Carlos de Lamare; BRANDÃO, Luiz Eduardo Teixeira. Crossing the Brownian Bridge: valuing infrastructure capacity expansion policies as real options. **Construction Management and Economics**, v. 39, n. 3, p. 261-276, 2021.

NOMBELA, Gustavo; DE RUS, Ginés. Flexible-term contracts for road franchising. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 38, n. 3, p. 163-179, 2004.

ROUHANI, Omid M. et al. Revenue-risk-sharing approaches for public-private partnership provision of highway facilities. **Case Studies on Transport Policy**, v. 6, n. 4, p. 439-448, 2018.

VASSALLO, Jose M. Traffic risk mitigation in highway concession projects: the experience of Chile. **Journal of Transport Economics and Policy (JTEP)**, v. 40, n. 3, p. 359-381, 2006.

VASSALLO, José Manuel. Flexible-term highway concessions: how can they work better?. **Transportation Research Record**, v. 2187, n. 1, p. 22-28, 2010a.

VASSALLO, José Manuel. The role of the discount rate in tendering highway concessions under the LPVR approach. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 44, n. 10, p. 806-814, 2010b.

XIONG, Wei; ZHANG, Xueqing. Concession renegotiation models for projects developed through public-private partnerships. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 140, n. 5, p. 04014008, 2014.

XIONG, Wei; ZHANG, Xueqing; CHEN, Hongyu. Early-termination compensation in public–private partnership projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 142, n. 4, p. 04015098, 2016.

FGV TRANSPORTES

https://transportes.fgv.br