

ASPECTOS TÉCNICOS, ECONÔMICOS, LOGÍSTICOS, AMBIENTAIS E SOCIAIS DA REUTILIZAÇÃO DE PNEUS INSERVÍVEIS PARA A PRODUÇÃO DE ASFALTO-BORRACHA¹

V. F. C. Lins²
C.A. Dusse³
M. E. S. Ribeiro e Silva²
D.J.A V. Magalhães²

Resumo

O objetivo deste trabalho é a avaliação da implantação de uma planta de picotar pneus, visando utilizar pneus pós-consumo para produzir asfalto-borracha, analisando-se os aspectos técnicos, econômicos, logísticos e sociais do empreendimento. A reciclagem de pneus é viável apenas quando uma logística de coleta é implantada. O uso de pneus pós-consumo em asfalto-borracha não é poluente, e tem se mostrado uma alternativa excelente para a redução do lixo sólido urbano. A vantagem no uso do asfalto-borracha em detrimento do asfalto tradicional foi estudado. A avaliação do aumento nos custos devido ao preço da borracha, ao processo de mistura e aplicação do asfalto em relação à diminuição dos custos devido à redução de custos de manutenção e a alta qualidade do asfalto-borracha foi feita. O preço do certificado de descarte legal dos pneus foi avaliado em US\$ 0.73/pneu. O rendimento com a venda dos materiais reciclados foi US\$0.86/pneu. O custo de coleta de pneus foi US\$ 0.30/pneu, e o custo de transporte dos pneus até a planta de picotar pneus foi US\$ 0.12/pneu, representando um custo total de US\$ 0.42/pneu. Os pneus descartados representaram um custo de US\$0.21/pneu.ano para a sociedade, sendo que a planta de picotar pneu geraria empregos para a comunidade.

Palavras-chave: Pneus inservíveis; Asfalto-borracha; Reciclagem; Resíduo sólido.

TECHNICAL, ECONOMICAL, LOGISTICAL, ENVIRONMENTAL AND SOCIAL ASPECTS OF THE REUSE OF POST-CONSUMER TIRES TO THE PRODUCTION OF RUBBER-ASPHALT

Abstract

The objective of this work is the evaluation of a tire shopper plant to utilize post-consumer tires to produce rubber-asphalt and to analyze the technical, economical, logistical, and social aspects of the project. Tire recycling is only viable when a collection logistic of tires is implanted. The use of post-consumer tires in rubber-asphalt is not pollutant, and has been an excellent alternative. The advantage in the use of the rubber-asphalt in detriment to the traditional asphalt was studied. The evaluation of the increase in the costs due to the rubber price, the mixture process and the asphalt application, in relation to the decrease in costs due to the reduction of the maintenance costs and the high quality of the rubber-asphalt is done in this work. The price of the certificate of legal tire disposal was US\$ 0.73/scrap tire. The income with the sell of recycled tire materials was US\$ 0.86/tire. The tire collection cost was US\$ 0.30/tire, and the transportation cost to the chop plant was US\$ 0.12/tire, representing a total cost of US\$ 0.42/tire. The discarded tires represent a cost of US\$ 0.21/tire.year for the society and the chopping plant would generate beneficial in jobs creation for the community.

Key words: Post-consumer tires, rubber-asphalt, recycling, solid waste

¹ *Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*

² *D.Sc., Universidade Federal de Minas Gerais*

³ *M.Sc., PETROBRAS*

1 INTRODUÇÃO

Pneus inservíveis constituem um resíduo sólido de difícil descarte.

Os pneus são uma mistura de borracha natural e elastômeros com adição de negro de fumo, que fornece ao produto resistência mecânica, durabilidade e resistência à radiação ultravioleta. A mistura é vulcanizada a temperaturas entre 120°C e 160°C, usando aceleradores (compostos de enxofre e zinco), e antioxidantes. Um fio de aço é embutido no talão, que se ajusta ao aro da roda. No pneu radial, uma manta de tecido de nylon reforça a carcaça e a mistura é espalmada em uma malha de arames de aço entrelaçada nas camadas superiores.⁽¹⁾

Soluções utilizadas para dar um descarte adequado aos pneus inservíveis são o co-processamento em fornos (indústrias de cimento) com controle rigoroso dos gases de combustão, o processo da pirólise, ou a moagem dos pneus, reciclando a borracha como matéria prima.

Uma solução alternativa, que tem sido adotada por vários países, é o uso da borracha reciclada em pavimento asfáltico.

No Brasil, não há leis para o controle do descarte final de pneus inservíveis, que são acumulados em rios, em depósitos de lixo e em borracharias, onde os pneus são um ambiente propício à proliferação do mosquito *Aedes aegypti*, transmissor da dengue. Em 1999, o Conselho Nacional do Meio Ambiente / CONAMA editou a Resolução 258/99, que obriga os produtores e importadores de pneus a dar um destino ecologicamente correto aos mesmos, a partir de 2002. Desde então, o aproveitamento dos pneus tem ocorrido basicamente sob a forma de reciclagem da borracha desvulcanizada e queima em fornos de cimenteiras. Recentemente, os pneus começaram a ser utilizados no processo de pirólise de xisto, na Usina da Petrobrás em São Mateus do Sul - Paraná, que tem capacidade para destruir até 27 milhões de pneus por ano.

A reciclagem de pneus só é viável se uma logística de coleta adequada é implantada. Canais de distribuição reversa têm sido estudados apenas recentemente pela academia⁽²⁾ e os dados da literatura sobre o assunto são escassos. Neste caso, os produtos não retornam à fábrica (logística reversa⁽³⁾), mas ao ciclo produtivo.

A planta de cominuição de pneus é um grande empreendimento com um alto investimento. Assim, o projeto de sua implantação deve ser avaliado em seus aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais.

Este estudo avalia a parte inicial da implantação de uma planta de picar pneus.

O objetivo deste trabalho é a avaliação econômica de um empreendimento de uma usina de cominuição de pneus inservíveis, descartados na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), para produzir asfalto-borracha e a análise dos aspectos técnicos, logísticos, sociais e ambientais do projeto.

2 METODOLOGIA

2.1 Avaliação da Quantidade de Pneus Descartados na RMBH

A vida útil de pneus está relacionada com a distância percorrida pelos mesmos, o tipo de pavimento, as condições de manutenção dos veículos e a pressão dos pneus. O número de pneus descartados foi estimado dividindo-se a distância total percorrida pela frota estimada, pela distância média percorrida durante a vida útil do

pneu, e multiplicando-se este resultado pelo número de pneus dos veículos da frota.

A estimativa da distância total percorrida pela frota foi feita considerando-se o consumo de combustível no período de tempo considerado, multiplicada pelo consumo médio de combustível da frota.

A distância média percorrida na vida útil do pneu foi obtida por pesquisa de campo.

O consumo de combustível no transporte em rodovias foi obtido de duas fontes: da Agência Nacional de Petróleo, ANP, e do Ministério de Minas e Energia.

O consumo médio da frota foi estimado considerando-se o consumo específico por grupos de potência dos veículos.

O consumo específico para caminhões e ônibus foi estimado usando-se o consumo fornecido pelas indústrias fabricantes destes veículos. A potência média dos caminhões foi 70% da potência do motor e a potência considerada para os ônibus foi 50% da potência do motor. A transformação tempo/distância foi feita usando-se velocidades de 20 a 35 km/h para o tráfego urbano e de 60 a 70 km/h para o tráfego nas estradas.

O tamanho da frota foi considerado como o valor acumulado da venda interna de veículos de 1980 até 2003, sendo usado para se calcular o consumo médio e o número de pneus. O descarte de pneus foi estimado para veículos de passeio, comerciais leves e pesados.

2.2 Análise Logística

A capacidade considerada para a planta de cominuição de pneus foi de dois milhões de pneus por ano, e o fluxo de transporte foi feito durante cinco dias na semana.

As cidades próximas a Belo Horizonte e seis áreas na cidade de Belo Horizonte foram escolhidas como eco-pontos. A coordenada de localização foi obtida de um mapa e foi usada para a otimização de rotas e a localização da planta. A localização da planta foi feita usando-se o software LOGWARE, 4.0⁽⁴⁾, e o módulo COG, que utiliza o método do centro de gravidade exato⁽⁴⁾. As rotas de transporte foram definidas usando-se o mesmo software e o módulo ROUTER, que utiliza o método da economia para a otimização das rotas e a programação dos veículos⁽⁴⁾.

Os custos de transporte foram calculados considerando os custos com os caminhões e o sistema de taxa de atratividade.

2.3 Análises Sociais e Ambientais: Custos Governamentais com a Dengue Causada pelo *Aedes Aegypti*

A água aprisionada em pneus inservíveis descartados inadequadamente é um dos meios de reprodução mais propícios para o inseto *Aedes aegypti*. Resultados de uma pesquisa realizada pela Prefeitura de Belo Horizonte indicam que os pneus representam 9% dos micro-ambientes de reprodução deste inseto. Os custos do combate à dengue vêm sendo cobertos por fundos governamentais e foi considerada uma fração de 9% destes custos como sendo devido ao descarte inapropriado dos pneus pós-consumo. Estes custos governamentais podem ser direcionados para as classes economicamente menos favorecidas para que recolham os pneus inservíveis e os entreguem nos eco-pontos. Neste estudo, estes custos foram considerados como custo de compra dos pneus inservíveis.

2.4 Preço do Certificado do Descarte Legal de Pneus

O preço cobrado pelo certificado de descarte legal de pneus inservíveis foi calculado como o menor valor que fabricantes de pneus despenderiam para fornecer um destino adequado aos pneus inservíveis da região de Belo Horizonte. Neste caso, este custo inclui a coleta dos pneus, a cominuição dos mesmos, o transporte até a Usina da Petrobras no Paraná e o pagamento para a destinação nos fornos de pirólises.

Os custos de cominuição dos pneus foram determinados usando uma avaliação econômica do negócio. A receita foi considerada como o preço do pneu picotado capaz de tornar nulo o valor presente líquido, com uma taxa interna de retorno de 13%. O investimento total nos equipamentos para picotar os pneus foi US\$ 1.500.000,00, para uma capacidade da planta de 12 000 ton /ano de pneus⁽⁵⁾.

2.5 Aspectos Técnicos

2.5.1 Usina de cominuição

Os processos mais utilizados para a trituração de pneus para uso em pavimentos são: processo a temperatura ambiente, criogênico, e úmido. O presente estudo considera uma usina de tritar genérica, com um tipo de processo a temperatura ambiente, com capacidade de processamento de 2 milhões de pneus por ano, com um custo nos Estados Unidos de US\$ 3 milhões, e um custo de importação de 80% deste valor.

2.5.2 Asfalto-Borracha

O processo de produção de asfalto-borracha consiste na incorporação da mistura da borracha de pneus moída com o ligante asfáltico em um reator com misturador a uma temperatura entre 150°C e 200°C, durante um determinado período de tempo (20 min a 120 min). O resultado é um ligante modificado que tem propriedades significativamente diferentes do ligante asfáltico original, chamado asfalto-borracha.

A viabilidade econômica da produção do asfalto-borracha foi analisado pelo Valor Presente Líquido considerando o investimento na usina de asfalto-borracha, e a receita sendo a venda do asfalto-borracha, conforme o preço estipulado pelo Departamento Nacional de Infra-estrutura em Transportes, DNIT.

A viabilidade econômica do pavimento de asfalto-borracha foi analisada pela Análise de Custo do Ciclo de Vida (LCCA) do pavimento que considera os componentes de custos agenciais (inicial, reabilitação, manutenção e recapeamento), custos de uso (veículos transitando e atrasos na viagem) e custos externos (barulho, acidentes, poluição e outros). Por simplificação, só foram considerados os custos de construção inicial e de manutenção do pavimento. Os custos das misturas e do cimento asfáltico para o pavimento com asfalto-borracha foram obtidos do DNIT. Os custos de manutenção foram obtidos de estudos realizados previamente nos Estados Unidos.

O mercado da borracha moída para asfalto-borracha foi calculado considerando-se um mercado em potencial do asfalto-borracha, de 10% da produção de cimento asfáltico produzido pela Petrobrás na refinaria de Minas Gerais no ano de 2003 como asfalto-borracha, e um crescimento anual de 4 % ao ano.

O teor de borracha no ligante foi considerado como 18%, e o teor de ligante usado na mistura de asfalto-borracha foi de 9% em peso. Este valor foi adotado para misturas com graduação aberta de alta concentração de ligante.

A espessura do concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) foi de 7,5 cm. A espessura equivalente de asfalto-borracha foi estimada usando-se a mesma quantidade de cimento asfáltico. Esta definição permite eliminar o efeito do cimento asfáltico na consideração do custo.

A quantidade de concreto betuminoso usinado a quente, CBUQ, foi obtida da quantidade de cimento asfáltico do ligante e foi aplicada à mistura do ligante de 5% em peso no asfalto tradicional. O custo de transporte foi o mesmo para os dois tipos de mistura asfáltica.

2.6 Análise Econômica da Usina de Cominuição

O método usado para a avaliação econômica foi o Valor Presente Líquido e a Taxa Interna de Retorno. O Valor Presente Líquido foi calculado para um ano antes do início das atividades da planta e a taxa de atratividade usada foi de 15% devido à característica conceitual do projeto.

A análise econômica da usina de cominuição de pneus foi realizada para o retorno do investimento na taxa mínima, considerando-se como receitas as vendas dos produtos obtidos dos pneus e do certificado de descarte legal dos pneus, e contabilizando-se outros custos operacionais e legais.

A estimativa do investimento da usina, os custos operacionais e o preço do aço foram obtidos de informações disponíveis na literatura. O preço de venda da borracha moída para uso em asfalto-borracha foi calculado pelo menor preço deste produto ofertado nos Estados Unidos, e ainda reduzido de um custo de 19,2% equivalente ao custo médio de importação de borracha pelo Brasil de 2001 a 2004. Assim, a borracha poderia ser ofertada por este preço nos Estados Unidos. O preço do restante da borracha produzida foi reduzido em 20% para compensar a venda em outros segmentos de mercado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação da Quantidade de Pneus Descartados na RMBH

O resultado apresentou um consumo específico médio para a frota de veículos estimado de 9,32 km/L a 9,72 km/L para veículos a gasolina e de 6,80 km/L a 6,81 km/L para veículos a álcool.

Os caminhões foram segmentados, em leve, médio, médio pesado, pesado e extra pesado, considerando-se as vendas de caminhões no período de 1999 a 2003. Os cálculos do consumo específico e número médio de pneus da frota nacional para os veículos a diesel resultaram em 5,35 km/L a 5,88 km/L para o consumo específico de diesel e em 7,1 a 6,7 pneus por veículo.

Finalmente, foi considerado que o consumo específico dos veículos da frota de Minas Gerais é o mesmo da frota nacional.

Verificou-se que a vida útil de pneus de automóveis em trajetos mistos urbanos e rodoviários tem sido, em média, de 50.000 km. A vida útil média dos pneus novos de caminhões é de 80.000 km e dos reformados, 60.000 km.

Foram consideradas três reformas para todos os pneus de veículos com motor diesel, com redução de 20% na quilometragem média destes pneus reformados, e uma reforma para 5% dos pneus dos automóveis.

Na Tabela 1, pode ser observado o resultado da aplicação da metodologia utilizada neste trabalho para o cálculo do número de pneus descartados no período de 1999

a 2003, em Minas Gerais, São Paulo, Paraná e no Brasil. O total de pneus descartados no Estado de Minas Gerais, no período de 1993 a 2003, foi de 25.576.247. O descarte estimado de pneus, proporcionalmente a frota de veículos registrados, foi 7.676.986 de 1993 a 2003, para as 11 cidades da região metropolitana de Belo Horizonte.

Tabela 1: Estimativa da quantidade anual de pneus descartados

Ano	MINAS GERAIS	SÃO PAULO	PARANÁ	BRASIL
1999	2.628.233	8.643.054	1.813.688	25.623.666
2000	2.552.917	7.667.387	1.778.235	24.225.627
2001	2.436.227	7.549.374	1.747.987	23.736.778
2002	2.499.953	7.546.614	1.702.792	24.676.999
2003	2.427.888	7.103.564	1.744.750	23.534.002

3.2 Análise Logística

A capacidade da planta é de dois milhões de pneus por ano. O fluxo de descarte anual de pneus na região de Belo Horizonte foi de 728.757 em 2003. Este valor é inferior à capacidade da planta, sendo necessária a coleta de pneus em outras regiões para abastecer a planta ou a redução do passivo existente.

Os aspectos logísticos começam nos eco-pontos que recebem os pneus descartados que serão enviados à planta de cominuição de pneus. Os aspectos envolvidos na coleta de pneus das pequenas cidades até os depósitos de pneus denominados eco-pontos foram considerados como sociais por causa do gerenciamento de resíduo público envolvido.

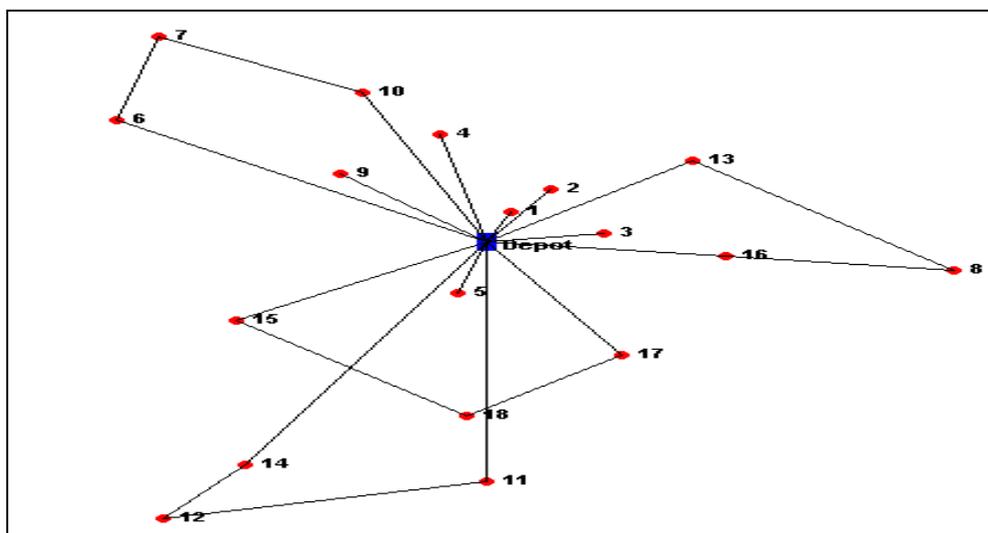
O transporte foi feito durante cinco dias da semana. Foi considerado um eco-ponto por cidade e seis eco-pontos na área da cidade de Belo Horizonte. A localização dos eco-pontos para aplicação no Programa COG⁽⁴⁾ foi feita através de coordenadas de um mapa da região. A melhor localização da planta foi no ponto 1, que representa o depósito na região central de Belo Horizonte. A área central da cidade de Belo Horizonte não é adequada para esta utilização devido ao fluxo intenso de caminhões em uma área urbana. Assim, a localização do depósito foi considerada na área Norte de Belo Horizonte (X=306 e Y=316), considerando o baixo custo do terreno e o fácil acesso para caminhões. Este eco-ponto também foi avaliado como o melhor para receber pneus de todo o Estado de Minas Gerais. Três modelos de caminhões foram colocados como disponíveis no Programa com capacidades de transporte de pneus de 416 (Leve), 780 (Médio) e 1.216 (Pesado). Foi calculado o custo de transporte usando o Módulo ROUTER. Os resultados da aplicação do software indicaram a necessidade de 10 rotas. Foram selecionados 6 caminhões pesados (H), 2 leves (L) e um médio (M). A utilização média foi de 73,4% da capacidade do caminhão. A rota mais rápida foi a número 1, com o tempo de 7 horas e 18 minutos, e capacidade de transportar 934 pneus do eco-ponto no centro de Belo Horizonte.

As rotas representam uma distância de 810 km por dia, com um transporte de 6 844 pneus por dia, a um custo de US\$ 840,61, ou US\$ 0,12 por pneu.

Os resultados indicaram que as rotas de Belo Horizonte e Contagem são rotas individuais e as demais apresentaram uma morfologia de gota, recomendada pela teoria.⁽⁴⁾

A Figura 1 apresenta um esquema fornecido pelo módulo ROUTER das dez rotas de recolhimento de pneus na RMBH.

Figura 1 – Otimização das rotas de recolhimento de pneus na RMBH obtidos com o programa LOGWARE, módulo ROUTER.



3.3 Aspectos Sócio Ambientais: Custos Governamentais com a Dengue Causada pelo Aedes Aegypti

A estimativa de custo com a dengue na RMBH pode ser feita considerando que, em 2002, o Ministério da Saúde liberou 1 bilhão de reais para deter o avanço da dengue no país.⁽⁶⁾

Considerando que o gasto público é proporcional à população, que era de 169 799 170 no Brasil e 4 089 078 na região metropolitana de Belo Horizonte, o custo com a dengue pode ser estimado em R\$ 24,1 milhões, ou US\$ 8 milhões, na RMBH.

O número de pneus descartados na RMBH nos últimos 10 anos foi de 7,7 milhões, e considerando que os pneus representam 9% dos focos de dengue e que os gastos sejam proporcionais a este valor, pode-se aceitar que o custo da dengue seja de R\$ 0,28/pneu, ou US\$ 0,09/pneu.

Além do gasto com o controle da dengue, o gasto público causado pela doença é incrementado pelo gasto com internação em hospitais e pelas horas perdidas de trabalho da população infectada e doente.

Em Belo Horizonte, foram registrados 1.552 casos e 2.324 suspeitas da doença.

Considerando a RMBH, os casos confirmados crescem para 2.835 e os suspeitos para 4.245 casos. O serviço público de saúde no Brasil gastou R\$237,82/caso para o tratamento da doença e R\$40,38/caso para o diagnóstico. Portanto, para a RMBH, o custo anual com a doença foi R\$845.644,00 (US\$281.881,33). Considerando 9% deste custo, é obtido o valor de R\$ 0,01 por pneu descartado.

A fração do custo devido às horas de trabalho perdido pelos trabalhadores doentes não foi considerada neste estudo.

Outro gasto a ser considerado é o custo que as prefeituras têm com o recolhimento de pneus descartados inadequadamente pelas cidades. Este custo foi considerado igual ao custo da logística para recolher os pneus dos eco-pontos até a usina de cominuição, ou seja de R\$ 0,37 (US\$ 0,12) por pneu descartado.

Assim, o custo governamental total com o pneu descartado pode ser estimado em US\$0,21/pneu. O governo pode oferecer este valor para a população desempregada, que realizaria a coleta de pneus.

3.4 Preço do Certificado do Descarte Legal de Pneus

A análise econômica realizada para o estudo da planta de cominuição de pneus para o investimento de US\$ 1.500.000,00, custos de produção de 15% da receita e custo administrativo de 10% da receita, para um período de 10 anos, resulta em um Valor Presente Líquido igual a zero para o preço dos pneus picados de US\$ 56 por tonelada de pneu.

O custo de transporte para a indústria de xisto foi US\$19/1000 ton.km.⁽⁷⁾

A indústria de xisto está entre as indústrias no Brasil que fornecem um destino legal aos pneus inservíveis. O preço da indústria para este serviço é de US\$16,67/ton.

O preço do certificado de destinação legal aos pneus é a soma do preço dos pneus picados (US\$56/ton), o preço do transporte da borracha (US\$19/ton), e o preço da destinação da borracha (US\$16,67/ton). O resultado foi US\$91,67/ton, ou US\$0,73 /pneu.

3.5 Aspectos Técnicos

3.5.1 Mercado e Preço de borracha moída em Minas Gerais

Um valor de 10 % do cimento asfáltico produzido em Minas Gerais foi utilizado como ligante no asfalto-borracha. A produção de cimento asfáltico no Estado de Minas Gerais, em 2003, foi de 150.000 m³.

Os valores de 2003 foram usados como valores de mercado para o primeiro ano de operação da planta de cominuição de pneus. Nos anos seguintes, um aumento anual de 4 % na produção de asfalto-borracha foi considerado.

O preço da borracha moída nos Estados Unidos adotado neste estudo é 0,10 US\$/lb. A taxa de exportação usada foi de 19,2 % em relação ao preço nos Estados Unidos, resultando no valor de US\$0,081/lb, ou US\$177,76/ton para a borracha a ser usada no asfalto-borracha em Minas Gerais. Este preço é apenas 13% do preço da borracha natural.

O preço considerado para a borracha reciclada não usada na produção de asfalto-borracha foi 20% menor, ou seja US\$142,21/ton, e sua quantidade representa 30% do total de borracha.

Neste estudo, foi considerado que os pneus são compostos de 70% de borracha, 17,5% de aço, 12,5% de plásticos e resíduos.⁽⁸⁾ Considerando a massa de 8 kg por pneu, obtém-se 5,6 kg de borracha, 1,4 kg de aço, e 1 kg de plásticos e resíduos.

3.5.2 Viabilidade econômica da usina de asfalto-Borracha

A viabilidade econômica da usina de produção de asfalto-borracha mostra a robustez do empreendimento da usina de cominuição de pneus pois, se a produção de asfalto-borracha é viável, a venda da borracha estará garantida.

A produção e transporte da quantidade prevista de asfalto-borracha, necessita de dois equipamentos que terão investimento total de US\$3.000.000,00.

A receita será a produção de asfalto-borracha (168.977 ton/ano 1) com crescimento de 4% ao ano, multiplicado pelo preço do DNIT em dólar com R\$3,00/dólar (R\$191,91). Portanto para o ano 1 a receita será US\$10.809.000,00.

O VPL calculado com o fluxo de caixa resulta em US\$ 170.000,00 e TIR de 17,0%, indicando que, para as premissas adotadas, ou seja, os preços estipulados pelo DNIT, o custo de produção do asfalto-borracha sendo 10% maior que o custo do convencional e um investimento de US\$3,0 milhões, a produção de asfalto-borracha é economicamente viável.

3.5.3 Viabilidade econômica do pavimento de asfalto-borracha

A análise de Custo do Ciclo de Vida (LCCA) do pavimento só considerou os custos de construção inicial e de manutenção do pavimento.

O valor do investimento será a diferença de custo entre o asfalto convencional e o asfalto-borracha, considerando o ano 1 para as quantidades de misturas, e uma pista com 10 m de largura e 138 km de comprimento.

A receita considerada foi a redução do custo de manutenção dos pavimentos⁽⁹⁾.

O fluxo de caixa da avaliação do ciclo de vida comparativo entre um pavimento de asfalto convencional e o seu equivalente com asfalto-borracha foi montado. A receita foi considerada como a diferença de gastos de manutenção dos dois pavimentos, e o investimento a diferença anual entre o custo dos dois tipos de pavimento, que torna nulo o VPL.

Esta avaliação simplificada do LCCA do pavimento indica que a redução de gastos com a manutenção do pavimento permite ter um aumento do gasto anual com o asfalto-borracha de US\$ 183.333,00 em relação ao asfalto convencional.

Usando este valor e os preços dos componentes da mistura de asfalto-borracha, obtém-se que a espessura da camada de asfalto-borracha para o valor máximo de investimento inicial é de 5,9 cm. Para espessuras menores, as vantagens econômicas crescem.

Portanto, um pavimento de asfalto-borracha com espessura de 5,9 cm com 9% p/p de ligante contendo 18% p/p de borracha, equivale economicamente a um pavimento convencional de 7,5 cm espessura, com 5% p/p de ligante.

Considerando a espessura do asfalto tradicional de 7,5 cm, a espessura do asfalto-borracha seria de 5,4 cm para o mesmo desempenho.

Pampulin⁽¹⁰⁾ relatou uma espessura correspondente de 4,5 cm de asfalto-borracha para 7,5 cm do asfalto tradicional. Assim, mesmo a utilização do LCCA indica que o asfalto-borracha é economicamente viável, quando consideradas correspondências de espessuras.

3.6 Avaliação Econômica da Usina de Cominuição

No Estado de Minas Gerais, 20% dos pneus descartados são de caminhões e 80% de pneus de automóveis e caminhonetes. A composição média destes pneus é 70% de borracha, 17,5% de aço, e 12,5% de fibras poliméricas e resíduo sólido.⁽⁸⁾

Considerando a capacidade da planta de 2 milhões de pneus por ano e o valor médio de 8 kg/pneu, a planta precisa processar 11.200 ton/ano de borracha, 2.800 ton/ano de aço, e 2.000 ton/ano de fibras poliméricas e resíduo sólido.

O investimento será de US\$ 3,0 milhões, e um aumento de 80% precisa ser considerado devido a taxas de importação, resultando em US\$ 5,4 milhões. O investimento será realizado em dois anos, sendo de US\$ 5,0 milhões no primeiro ano.

O fluxo de caixa da usina de cominuição de pneus foi feito. O valor presente líquido (VPL), US\$ 414.100,00, e a taxa interna de retorno (TIR), 18.0%, foram calculados. Estes valores indicam que o empreendimento é economicamente viável, resultando num valor adicional de US\$ 414.100,00 relativo a 10 anos de vida do negócio.

O valor do certificado de destinação de pneus na realidade é a principal fonte de receita desta empresa, representando quase metade da receita bruta, devendo ser negociada por contrato, sob o risco de inviabilizar a empresa se esta receita não ocorrer.

Ocorrendo uma redução global na receita de 7% o empreendimento praticamente fica com VPL zero. Esta variação é pequena quando são consideradas todas as incertezas de um empreendimento como este, indicando ser este um investimento de risco.

4 CONCLUSÕES

A implantação de uma usina de cominuição de pneus inservíveis na Região Metropolitana de Belo Horizonte, RMBH, é um empreendimento economicamente viável.

O pavimento de asfalto-borracha é economicamente viável, quando construído com espessura correspondente a mesma quantidade de ligante.

A análise logística indicou a necessidade de se estabelecer dez rotas para o transporte de pneus de cidades na região metropolitana de Belo Horizonte até o eco-ponto em Belo Horizonte, onde se localizaria a planta. O custo de recolhimento foi de US\$ 0,12 / pneu.

O preço do certificado de descarte legal de pneus foi estimado em US\$ 0,73/pneu.

A receita com a venda de materiais reciclados oriundos do pneu foi calculada em US\$ 0,86/pneu.

O custo de transporte de pneus para a planta foi US\$ 0,12/pneu.

Os pneus descartados representaram um custo de US\$ 0,21/pneu.ano para a sociedade e a planta de cominuir pneus poderia criar benefícios como a geração de empregos na coleta de pneus e na operação da planta.

REFERÊNCIAS

- 1 Andrietta, A. J. – Pneus e meio ambiente: um grande problema requer uma grande solução, 2003. Disponível em: www.reciclarepreciso.hpg.ig.com.br/recipneus.htm . Acesso em 17 de maio de 2003.
- 2 Leite, P.R. Logística Reversa: Meio Ambiente e Competitividade. São Paulo: Prentice Hall Editora, 2003.
- 3 Rogers, D.S.; Tibben-Lembke, R.S.. Going backwards: Reverse logistic trends and practices. Reverse Logistics Executive Council, Reno, 281 p, 1998.
- 4 Ballou, R.H. Gerenciamento da Cadeia de Suprimento/Logística Empresarial. Porto Alegre: Bookman, 616 p, 2001.
- 5 Lojudice, M. Companhias investem para reciclar pneus, 2002. Disponível em: http://www2.ciesp.org.br/bolsa/outros_servicos/detalhes_noticias.asp?ID=47. Acesso em 25 de junho de 2002.
- 6 Tortato, M.. Technical Report of Health Ministry of Brazil, April, 2003.
- 7 Fleury, P.F. Gestão Estratégica do Transporte. Artigos CEL. Centro de Estudos em Logística. Rio de Janeiro: COPPEAD, UFRJ, 2002. Disponível em: <http://www.cel.coppead.ufrj.br/fs-public.htm>. Acesso em : 19/10/2004

- 8 Reschner, K.. A Summary of Prevalent Scrap Tire Recycling Methods: Part 2: Size Reduction Technology, 2004. Disponível em: <http://www.entireengineering.de/str/em.html>. Acesso em 4 de março de 2004.
- 9 Way, G.B. Transportation Research Board (eds.). Proceedings of the 78th Annual Meeting , August 1999.
- 10 Pampulin, V.I. Proceedings of the 10th Annual ETRA Conference, Brussels, p. 27, March 2003.