

## **ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE RECICLAGEM DE PNEUS PARA PRODUÇÃO DE CBUQ EM TUCURUÍ (PA)**

DOI: 10.19177/rgsa.v9e32020808-828

**Mateus Mamede Mousinho<sup>1</sup>**  
**André Luiz Amarante Mesquita<sup>2</sup>**

### **RESUMO**

O objetivo principal dessa pesquisa foi quantificar o descarte de pneus inservíveis e analisar a viabilidade técnico-econômica para a implantação do processo de reciclagem de pneus inservíveis na fabricação de agregado borracha na mistura asfáltica em uma usina de asfalto existente. Para tanto, mensurou-se o descarte de pneus inservíveis em janeiro de 2018 na cidade Tucuruí, PA e estimou-se o volume de descarte das cidades adjacentes. Na metodologia utilizada foram aplicados 98 questionários em 30 bairros onde se encontram os estabelecimentos que manuseiam pneus em janeiro de 2018. Para a utilização como insumo para a produção de asfalto, utilizou-se o traço da mistura asfáltica modificada desenvolvido por Coelho *et al.* (2011). Os resultados demonstraram um montante mensal de 1.664 pneus nas borracharias, 2.347 pneus nas lojas mecânicas, totalizando em 4.011 pneus no município. As cidades adjacentes apresentaram em sua estimativa, 8.031 pneus inservíveis. Para um quilômetro de mistura asfáltica de espessura de 3,5 centímetros será necessário utilizar aproximadamente 11,72 toneladas de agregado reciclado (8,79 toneladas de borracha e 2,93 toneladas de serragem de madeira), chegando a uma economia na compra de matéria-prima de R\$ 56.075,41 por quilômetro. Conclui-se que os resultados dos três cenários são satisfatórios, as simulações do estudo foram apenas dos recursos disponíveis para a produção do agregado borracha gerado pelo município como um projeto pioneiro, com intuito que os outros municípios façam parte dessa identidade visual de cidade sustentável.

**Palavras-chave:** Resíduo Sólido; Pneu Inservível; Usina de Reciclagem; Asfalto-borracha; Análise de Viabilidade.

<sup>1</sup> Engenheiro de Produção no Centro Universitário Estado do Pará (2016), especialização em Gestão em Processos Gerenciais (2018) e Mestrado em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético pela Universidade Federal do Pará (2019). <https://orcid.org/0000-0003-0494-6824> E-mail: mateus.mousinho@hotmail.com

<sup>2</sup> Engenheiro Mecânico pela Universidade Federal do Pará (1984), mestrado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (1987) e doutorado em Engenharia Mecânica - Institut National Polytechnique de Grenoble (1992). E-mail: [andream@ufpba.br](mailto:andream@ufpba.br)

# ANALYSIS OF TECHNICAL AND ECONOMIC VIABILITY OF TIRE RECYCLING IMPLANTATION FOR PRODUCTION OF CBUQ IN TUCURUÍ (PA)

## ABSTRACT

The main objective of this research was to quantify the disposal of waste tires and to analyze the technical and economic feasibility of implementing the waste tire recycling process in the manufacture of rubber aggregate in the asphalt mix at an existing asphalt plant. To this end, the disposal of waste tires in January 2018 in Tucuruí, PA was measured and the volume of disposal of adjacent cities was estimated. In the methodology used, 98 questionnaires were applied in 30 neighborhoods where there are tire handling establishments in January 2018. For use as an input for the production of asphalt, the modified asphalt mixture trace developed by Coelho *et al.* (2011). The results showed a monthly amount of 1,664 tires in tire shops, 2,347 tires in mechanical stores, totaling 4,011 tires in the municipality. Adjacent cities have estimated 8,031 unusable tires. For one kilometer of 3.5 cm thick asphalt mix it will be necessary to use approximately 11.72 tons of recycled aggregate (8.79 tons of rubber and 2.93 tons of wood sawdust), saving on the purchase of raw materials. of R\$ 56,075.41 per kilometer. It is concluded that the results of the three scenarios are satisfactory, the study simulations were only of the resources available for the production of rubber aggregate generated by the municipality as a pioneer project, with the intention that the other municipalities be part of this sustainable city visual identity.

**Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**

**Keywords:** Solid waste; Unserviceable Tire; Recycling Plan; Asphalt-rubber; Feasibility analysis.

## 1 INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica, o desenvolvimento e o crescimento populacional contribuíram para o despejo de forma inadequada dos pneus inservíveis acarretando no aumento na geração de resíduos sólidos. A disposição final ocorre principalmente em aterros sanitários, e por isso, os ambientalistas apontam que a questão dos resíduos sólidos já é um dos mais graves problemas ambientais urbanos da atualidade (DOS SANTOS GARCIA *et al.*, 2016).

Ao descartar de forma inadequada os pneus pós-consumo, os danos são irreversíveis ao meio ambiente, pois estes não são biodegradáveis e seu tempo de decomposição ainda não é precisamente determinado pelos pesquisadores. Além disso, ocupam muito espaço físico e são difíceis de comprimir, recolher e eliminar, tornando-se ideais

para a reprodução do mosquito *Aedes Aegypti*, causando mal à saúde humana (UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME, 2010).

Segundo Lagarinhos *et al.* (2008), desde 1999 está proibida a disposição de pneus inservíveis em aterros, devido a sua forma e composição, dificuldade de compactação e decomposição, além do que, pneus podem reter ar e gases da decomposição de outros materiais em seu interior. Além disso, a logística reversa é definida pela Lei nº 12.305/2010, em seu Capítulo II, Artigo 3º, através de procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial.

Para diminuir os impactos ambientais causados por pneus inservíveis no meio ambiente, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) publicou em 26 de agosto de 1999 a resolução nº 258 obrigando as empresas nacionais e importadoras de pneus a recolher e dar destinação adequada a pneus no território nacional.

O CONAMA, através da Resolução nº 416 de 2009, determinou que os fabricantes de pneus com o peso unitário superior a dois quilos devem fazer a coleta e dar a destinação adequada desses itens quando se tornarem inservíveis.

Para que a cultura da reciclagem e a sustentabilidade sejam aspectos de preservação ambiental e educacional, é necessário justificar a reciclagem como uma atividade econômica que gera emprego e renda aos investidores, contribuindo para o bem-estar e qualidade de vida da sociedade.

Os pneus inservíveis são um problema que está inserido diretamente na sociedade que traz graves consequências ambientais e de saúde pública. Uma das formas de sanar esse transtorno é a efetiva fiscalização do poder público junto às empresas fabricantes (FREITAS e NÓBREGA, 2014).

A reutilização da borracha de pneus inservíveis como agregado na composição asfáltica surge como alternativa à problemática apresentada devido aos benefícios que proporciona (SALINI, 2000). Para Dias *et al.* (2014) a utilização de asfalto modificado por borracha demonstra-se uma técnica promissora, a qual apresenta vantagens estruturais e ecológicas, como redução do envelhecimento, baixo custo de manutenção e aumento da flexibilidade do revestimento asfáltico.

A substituição de uma parte dos agregados minerais pelo composto borracha/madeira faz com que a flexibilidade da mistura asfáltica seja aumentada, tornando-se o material com maior facilidade manual de trabalho (COELHO, 2018).

O pavimento de asfalto-borracha é cerca de 40% mais resistente, tem menor custos de manutenção, e possui maior aderência, o que ajuda a evitar derrapagens dos pneus em dias de chuva o que aumenta a segurança do usuário em comparação com o pavimento de asfalto convencional (SANTOS *et al.*, 2013; 2017).

O uso do asfalto-borracha traz benefícios ecológicos, ambientais e sociais. Além disso, propiciam vantagens ecológicas, ambientais e sociais, pela destinação adequada aos pneus descartados e inservíveis. Callister (2012) comprovou-se que na execução e manutenção do pavimento asfalto-borracha pode haver economia de cerca de 12%, comparando-se ao asfalto sem borracha, porque a vida útil é aproximadamente 30% maior que o do convencional.

Além do mais, a reciclagem de materiais na forma de pavimentos flexíveis empregando asfalto com borracha, possui menor deterioração das estradas, reduz gastos com transportes de matéria-prima e prazos de execução da obra, tornando-se essa técnica ainda mais econômica (SERRAGLIO, 2014).



Dessa forma, a usina de asfalto de Tucuruí, no interior do Pará, deve ter como objetivo o lucro financeiro e desenvolvimento dos benefícios ambientais, como a diminuição do volume de pneus inservíveis que seriam lançados no meio ambiente, que após tratamento passarão a ser utilizados, junto com a serragem de madeira, na composição do concreto asfáltico definidos e analisados.

O método utilizado da composição asfáltica segue a patente do asfalto modificado por borracha/madeira, de pedido de depósito BR102016006187-3, publicada no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), durante o Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia (PRODERNA) em 2016, pelo doutorando Johnny Gilberto Moraes Coelho.

A composição do asfalto modificado, aplicada na Rodovia Juscelino Kubitschek, Km 05, Macapá-AP, utilizada com resíduos de serragem de madeira de uso na construção civil e borracha de pneu na composição asfáltica. Para Coelho *et al.* (2011), a

substituição de uma parte dos agregados minerais pelo composto borracha/madeira faz com que a flexibilidade da mistura asfáltica aumente.

Segundo Gularte *et al.* (2017) o ramo da construção civil é essencial para o desenvolvimento do país, no qual é responsável pela contratação de parte da mão de obra, além da expressiva contribuição para o Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro.

Através dessa pesquisa, foi possível determinar o estudo da viabilidade do ponto de vista econômico para a produção do agregado borracha ao traço da composição do asfalto convencional. Para Bernucci *et al.* (2007), a real noção da viabilidade financeira é necessária, de modo que se faça uma análise considerando-se a vida útil do pavimento com adição de borracha.

## 2 METODOLOGIA

A etapa inicial da metodologia incluiu o levantamento do volume de pneus descartado no município de Tucuruí, PA e estimativa da contribuição das cidades adjacentes (Breu Branco, Tailândia, Jacundá, Novo Repartimento, Pacajá, Goianésia do Pará e Baião).



Para o levantamento local foram aplicados questionários estruturados *in loco* nas borracharias e lojas mecânicas de todos os tipos de pneus (automóvel, caminhão e motocicleta) do município. Para a estimativa utilizou-se o método de Lopes *et al.* (2002), que se baseia na frota de veículos e cujo descarte mensal é determinado pela Equação 1, apresentada a seguir:

$$DM = (QP_{\text{pneus}} \times \sum Q_{\text{pneus.veículo}}) / TM \quad (1)$$

Sendo:

DM = Descarte mensal

QP<sub>pneus</sub> = Quantidade de pneus por categoria de veículo.

$\sum Q_{\text{pneus.veículo}}$  = Somatória de veículo por categoria.

TM = Tempo de vida (meses) médio útil mensal do pneu.

O quantitativo de veículos obtidos por meio do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) e são referentes ao mês de novembro de 2017. Estes dados mostram que as cinco maiores frotas de Tucuruí - PA são de motocicletas, que representam 47,06 % (14.650 unidades), automóveis com 23,88% (7.434 unidades), motonetas

com 13,78% (4.290 unidades), caminhonetes com 7,06% (2.198 unidades), caminhões com 3,15% (980 unidades) e, por último as camionetas com 1,42% (441 unidades).

A viabilidade técnica-econômica de beneficiamento de resíduo para mistura asfáltica, foi dividido em dois pilares: a identificação da usina de asfalto e a aplicação do método proposto para análise econômica (fluxo de caixa, VPL, TIR e *payback*).

A identificação do objeto de estudo abrangeu a caracterização através do questionário aplicado para compreender o processo de reciclagem de pneus, a definição da localização, a descrição da infraestrutura e da documentação necessária para operação, os produtos que serão produzidos pela usina (borracha granulada e aço) e a capacidade de produção. Essas informações foram relevantes para identificar o investimento inicial do projeto, os custos e a receita da operação, que proporcionaram ao ponto de equilíbrio da usina e elaborar os fluxos de caixa para um período de 10 anos como base ao percentual de depreciação do maquinário da usina de reciclagem a 10% ao ano.



O local proposto para implantação da usina de reciclagem de pneus prevê uma central de tratamento de resíduos sólidos no atual terreno municipal de Tucuruí onde é fabricado o asfalto convencional da cidade. A área atual apresenta vantagem logística pela redução de custos e tempo no transporte, compartilhamento de mão de obra, melhor comunicação para abastecimento e a aquisição na compra do terreno, uma vez que o mesmo é de responsabilidade e propriedade da Prefeitura Municipal. As coordenadas geográficas do local são latitude 3°47'03.5"S sul e longitude 49°43'00.2"W.

Para analisar a viabilidade econômico-financeira da usina de reciclagem de pneus para pavimentação asfáltica, utilizou-se os seguintes indicadores econômicos com base comparativa através da taxa Selic 6,50% a.a.: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Retorno de Investimento (*Payback*), Índice de Lucratividade (IL) e a Rentabilidade.

Os indicadores foram aplicados em cenários, simulados através de alterações de hipóteses para as variáveis. Os cenários simulados foram: projetado (sem alteração nos custos e despesas), pessimista (aumentar os custos em 10% e os investimentos em 15%) e o otimista (reduzir os custos em 10% e os investimentos em 15%).

Além disso foi analisado os custos de manutenção pela atual licitação (20180107) do município como método com o comparativo entre o uso de CBUQ convencional (de massa asfáltica CAP-50/70 e com 5 cm de espessura) e de CBUQ modificado (com o revestimento com agregado borracha e espessura de 3,5 cm). A adoção da espessura reduzida se baseou no acervo disponibilizado pelo GRUPO GRECA ASFALTOS, pioneira no Brasil com a linha Ecoflexpave (GRECA ASFALTOS, 2009).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Pneus inservíveis em Tucuruí

O questionário aplicado nas lojas mecânicas e borracharias permitiu a identificação do número de estabelecimentos e do perfil das empresas.

Foram encontradas 54 lojas mecânicas e 44 borracharias, onde 56% armazenam os pneus em áreas cobertas ou depósitos até uma destinação final dos resíduos, e 41% informaram que não possuem um local de armazenagem para os pneus inservíveis, tendo que colocá-los em áreas externas, muitas vezes acumulando água parada.

Em relação da estimativa média de pneus pelo perfil do estabelecimento, foi verificado que em média 44 borracharias recebem de 20 a 50 pneus e nas mecânicas em média 30 a 70 pneus por mês. Nas borracharias são recebidas mensalmente 1.664 pneus e nas lojas mecânicas 2.347, totalizando 4.011 pneus inservíveis no município.

A quantidade mensal de pneus recolhidos pela categoria do veículo é de 49,31% (1.978 unidades) de automóveis, moto com 40,29% (1.616 unidades) e o menor volume para ônibus, caminhão e máquinas agrícolas com 2,64% (106 unidades), quanto aos pneus das bicicletas correspondem a 7,75% (311 unidades) do total de descarte. A Figura 1 ilustra a quantidade de pneus inservíveis gerados mensalmente em média por bairro na cidade.



Figura 1 – Quantidade de pneus inservíveis gerados mensalmente por bairro na cidade



Sobre o futuro dos pneus inservíveis no município, verificou-se a destinação dada aos pneus inservíveis. Pelas informações coletadas, aproximadamente 58,43% (2.344 unidades) do total mensal médio de pneus são descartados para serem coletados como lixo doméstico na região, 19,80 % (794 unidades) são coletados para revenda dos pneus à recapadora. Os restantes dos pneus são repassados para terceiros, como artesanato, revenda a borracharias e reaproveitamento em sítios particulares como proteção de barranco ou escada de pneus.

Sobre fiscalização ao tratamento que as empresas destinam aos pneus, foi verificada que somente a Unidade de Endemias de Tucuruí (UET) intensificam suas atividades nos períodos de chuva do ano por causa da proliferação do mosquito *Aedes Aegypti*. Entretanto, o número de visitas confirmadas pelas empresas foram, borracharias com 6,82% e nas lojas mecânicas 13,46%.

A respeito sobre a reciclagem de pneus traz alguma vantagem ao ambiente, também em sua totalidade, as empresas afirmaram que a reutilização ou destinação adequada



de pneus inservíveis vão trazer benefícios para a cidade e ao meio ambiente de várias maneiras como, diminuição de agentes transmissores de doenças na população, queima dos resíduos sólidos, e descarte inadequado, principalmente na mata ou igarapés. Alguns proprietários levantaram ideias como reutilização em praças públicas, encostas de açudes particulares e a criação de uma cooperativa para artesãs na fabricação de cadeiras, lixeiras, vaso de plantas, entre outros como uma fonte de renda.

### 3.2 Pneus inservíveis nas cidades adjacentes

Seguindo esta metodologia, realizou-se um comparativo entre a pesquisa em campo em Tucuruí e a estimativa com o objetivo de replicar para as cidades adjacentes na região. O quantitativo da coleta de dados de pneus inservíveis em Tucuruí foram de 1.978 para automóveis, 1.616 para motos e 106 para ônibus e caminhões, resultando em um montante de 3.700 de resíduos de pneus descartados no município mensalmente, os pneus de bicicleta não devem ser inseridos na análise. Com o método proposto por Lopes *et al.* (2002), chegou-se a estimativa de 3.618,86 (97,81%) pneus inservíveis, valor total comparado com a pesquisa em campo.

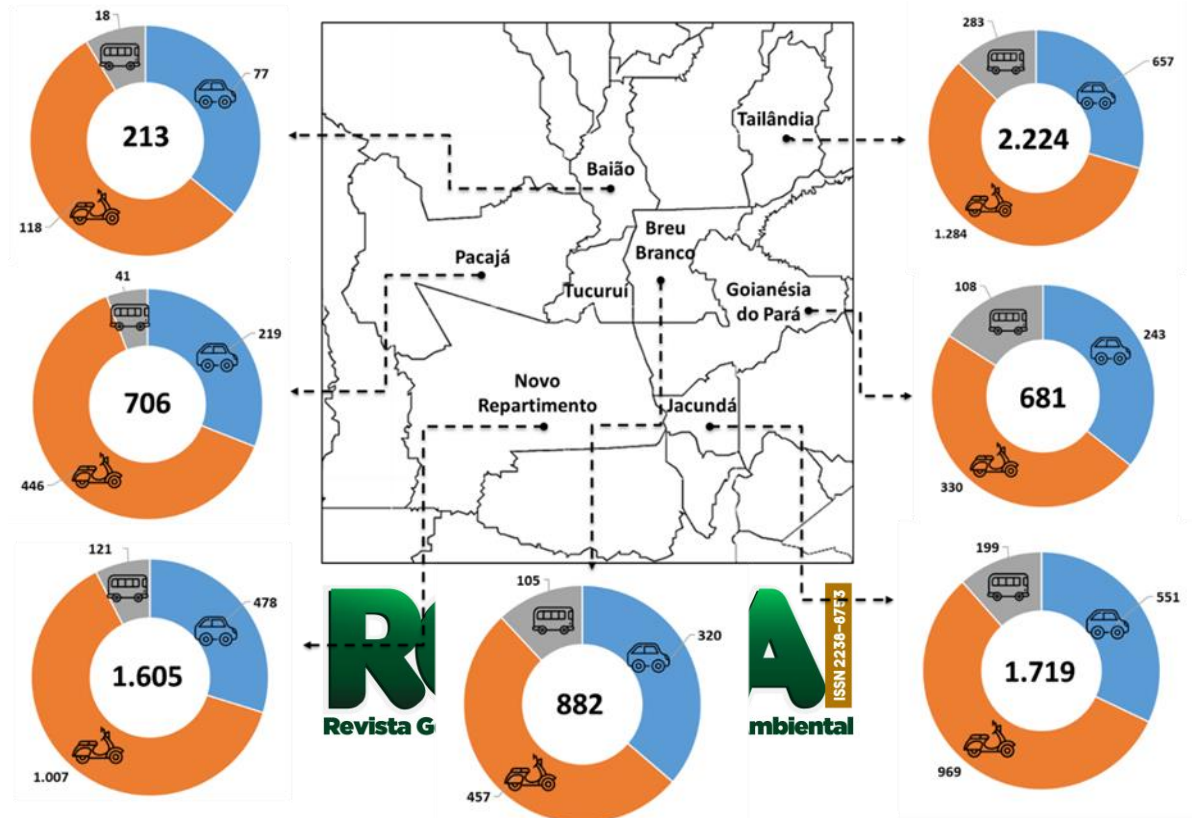
Para os automóveis, a estimativa chegou a 1.732,58 pneus descartados (12,4%) e as motos com 1.578,83 (2,3%), entretanto, caminhões e ônibus com 307,44 de pneus (190%) todos comparado com a pesquisa em campo, valor considerado alto para a categoria de grande porte devido as viagens constantes dos motoristas para outras regiões tornando-se a substituição dos pneus em diferentes pontos do país e algumas empresas realizam as suas trocas de pneus na matriz.

Após o cálculo da estimativa de descarte de pneus inservíveis para cada cidade de estudo, Tailândia (2.224), Jacundá (1.719) e Novo Repartimento (1.605), foram as cidades com maior quantidade de pneus inservíveis na região com grande potencial de ser fornecedora de matéria-prima (borracha e aço) caso ocorra uma demanda inesperada de produção do asfalto na região. A Figura 2 ilustra a estimativa por categoria de veículo de pneus nas cidades adjacentes a Tucuruí, PA.

Com o objetivo de quantificar a totalidade de borracha e aço através da reciclagem no município, o peso de um pneu novo para os automóveis em média de 8 kg, moto com 2 kg e os caminhões e ônibus com 60 kg, com o fator de desgaste do peso total de 30%. Um pneu de automóvel pode pesar entre 5,5 a 7,0 kg (143 a 182 unidades por

tonelada), já um pneu de caminhão chega a pesar 55 a 80 kg (12 a 18 unidades por toneladas).

Figura 2 – Estimativa mensal de pneus inservíveis nas cidades adjacentes



Fonte: Autores (2019).

Na composição dos pneus, para os automóveis com percentual de borracha (85%) e aço (15%), motos com borracha (90%) e aço (10%) e, por fim, caminhões e ônibus com borracha (75%) e aço (25%). A quantidade de matéria-prima estimada é de 15 toneladas de borracha e 3 toneladas de aço, previu-se uma reintegração ambiental, ou seja, 180 toneladas/ano que poderiam ser aproveitadas na mistura asfáltica como agregado borracha para Tucuruí. As cidades adjacentes apresentaram em matéria-prima estimada em 45,5 toneladas de borracha e 12 toneladas de aço. A Tabela 1 apresenta a estimativa mensal de produção de borracha e aço em quilos das frotas de veículos nas cidades adjacentes.

### 3.3 Análise de cenários de transporte de matéria-prima

Em um ambiente de muitas transformações, foram necessárias avaliar os possíveis cenários para a coleta de pneus inservíveis das cidades adjacentes. As cidades da análise foram, Tucuruí (usina), Marabá (recapadora) e Ananindeua (ponto de coleta).

As cidades adjacentes não possuem pontos de coleta, então os veículos mais adequados para o recolhimento desse material no centro das cidades será o Veículo Urbano de Carga (VUC) ou 3/4 com baú, veículos adequados para acessar em vias as revendedoras e borracharias nos bairros. O custo do frete foi estimado pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), através da resolução nº 5.839, de 17 de janeiro de 2019, tendo como base a lei Nº 13.703, de 08 de agosto de 2018, referente a tabela “Carga Geral”, sem a existência de carga de retorno do seu local de origem.

Tabela 1 – Estimativa da quantidade mensal de borracha e aço das cidades adjacentes

Cidade	Quantidade de Pneus	Borracha (kg)	Aço (kg)
Tailândia	2.224	13.665	3.705
Jacundá	1.719	10.410	2.687
Novo Repartimento	1.605	7.344	1.809
Breu Branco	882	5.417	1.439
Pacajá	706	2.888	674
Goianésia do Pará	681	4.987	1.389
Baião	213	1.087	272
<b>Total</b>	<b>8.031</b>	<b>45.499</b>	<b>11.976</b>

Fonte: Autores (2019).

A cidade em estudo, Tucuruí, apresenta uma viabilidade mais considerável, a estimativa do custo mensal do frete (R\$ 14.740,20), caso a cidade levasse todos os seus resíduos para o ponto de coleta de pneus em Ananindeua, diferença de R\$ 3.510,00 (R\$ 18.250,20) na hipótese de Tucuruí assumir a responsabilidade de coletar os pneus das cidades adjacentes a usina de reciclagem.

A recapadora em Marabá, segundo relatos dos locais visitados na pesquisa em campo, informaram que a empresa somente recolhe os pneus com melhores

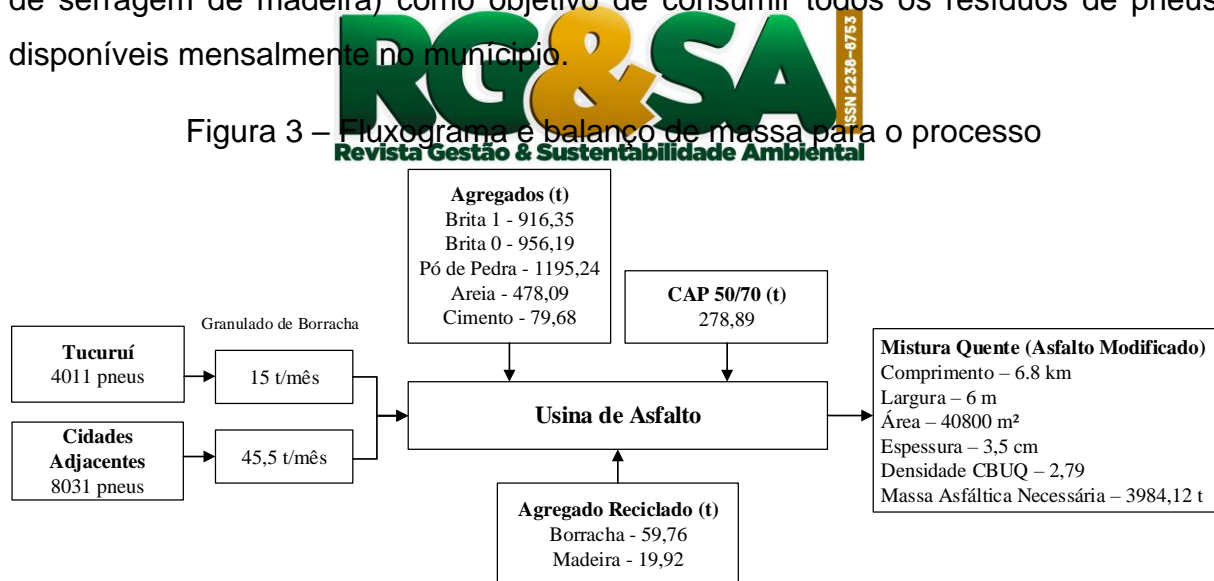
condições de recapagem, com o custo de frete de R\$ 9.936,00. A cidade entrou na análise caso a mesma tenha interesse de realizar um projeto semelhante à Tucuruí.

### 3.4 Processo e implementação na usina de asfalto

Considerando a geração de pneus, a Figura 3 apresenta o fluxograma e balanço de massa para a produção CBUQ, conforme o traço estabelecido por Coelho *et al.* (2011) e a Figura 4 apresenta um layout da implantação da usina de reciclagem dentro do complexo da usina de asfalto.

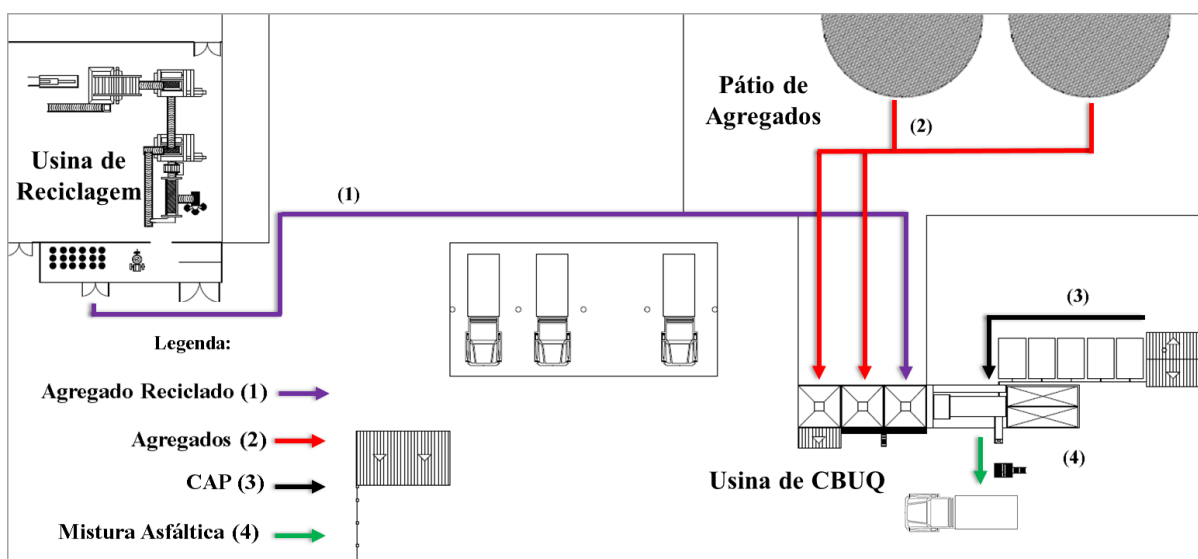
### 3.5 Especificações do processo para a produção do CBUQ

Para que seja aplicado a metodologia proposta por Coelho (2018), existe a necessidade do estudo da produção do agregado borracha, determinação da quantidade de matéria-prima disponível, para que não ocorra a ausência de material na produção de CBUQ modificado na região. A quantidade de agregados necessários para produzir 1700 metros de pavimentação (6 metros de largura e 3,5 centímetros de espessura) da mistura asfáltica modificado (15 toneladas de borracha e 5 toneladas de serragem de madeira) como objetivo de consumir todos os resíduos de pneus disponíveis mensalmente no município.



Fonte: Autores (2019).

Figura 4 – Layout da usina de reciclagem e usina de asfalto



Fonte: Autores (2019).

Acrescentando os pneus inservíveis do município e das cidades adjacentes, mensalmente na usina de reciclagem de pneus, com aproximadamente 60 toneladas de agregado borraça e 20 toneladas de serragem de madeira para pavimentar uma área de 40.800 metros quadrados para produzir 6800 metros de pavimentação.



As informações sobre os agregados da mistura asfáltica foram coletadas do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) referente a julho de 2018 do Pará.

Na simulação tendo como base uma aplicação de um quilômetro de mistura asfáltica de massa, foram utilizadas na composição de granulado de borraça (1,5%) e serragem de madeira (0,5%) aproveitado aproximadamente 8,79 e 2,93 toneladas por quilômetro respectivamente de resíduo no CBUQ modificado.

Com os custos totais dos agregados utilizados na composição, tornou-se o processo mais barato, cerca de 29,19% (R\$ 56.075,41) comparado com o convencional, fato relevante pela redução da espessura (30%), além disso, existem o custo de manutenção e a vida útil do material, tornando-se ainda mais vantajoso. O município conseguiria economizar no custo de aquisição dos agregados mensalmente cerca de R\$ 100.935,74 consumindo a borraça de pneus inservíveis na composição do CBUQ modificado.

### 3.6 Custo de manutenção de pavimentação

No Brasil, dentro do âmbito das aplicações realizadas pela Greca Asfaltos, em aproximadamente 80% dos casos, foi projetada uma redução de espessura em relação ao projeto original (GRECA ASFALTOS, 2017). A Tabela 2 refere-se a grandeza e os quantitativos das vias a serem pavimentadas pela Licitação – 20180107 (Contrato nº 115.2018.20.2.026) retirada do portal da transparência do município de Tucuruí.

Tabela 2 – Cálculos para obtenção da quantidade total de CBUQ (t)

<b>Cálculo Auxiliares</b>	<b>Convencional</b>	<b>Modificado</b>
Espessura da capa (m)	0,05	0,035
Peso específico do CBUQ (t/m <sup>3</sup> )	2,69	2,79
Volume de CBUQ (m <sup>3</sup> )	1.117,43	782,20
Área Total de Capa (m <sup>2</sup> )	22.348,60	22.348,60
Comprimento a ser pavimentado (m)	3.508,90	3.508,90
Largura da Faixa em ruas (m)	5,00 - 7,00	5,00 - 7,00
Largura da Faixa em avenidas (m)	7,00	7,00
Largura da Faixa em travessa (m)	6,00	6,00
Quantidade Total de CBUQ (t)	3.005,89	2.182,34

Fonte: Autores (2019).

A quantidade de CBUQ utilizada tanto para o convencional quanto para o modificado, segundo informações do SINAPI, a massa asfáltica o preço do CBUQ convencional faixa C praticado no estado do Pará gira em torno de R\$ 230,00 (SINAPI 07/2018) a tonelada, enquanto que em composição realizada ao preço do CBUQ modificado por estaria em média de R\$ 232,65 (1,15%) a tonelada.

A quantidade de massa asfáltica de CBUQ produzida no contrato do município ao revestimento convencional será de 3.005,89 t, através do somatório do projeto de pavimentação. Supondo que na proposta do contrato do município, obrigue que a empresa contratante utilizasse o revestimento com CBUQ modificado, a quantidade de massa asfáltica de CBUQ utilizada seria de 2.182,34 t. A Tabela 3 demonstra os valores médios encontrados no contrato atual, para os serviços de usinagem/aplicação e através destes o custo do asfalto utilizado e custo total da obra.

Tabela 3 – Custos de usinagem/aplicação e custos totais

Item	Grandezas	Cálculos	Unidade	Convencional	Modificado
A	Quantidade de massa asfáltica de CBUQ produzida	-	ton	3.005,89	2.182,34
B	Custo de usinagem/aplicação por tonelada de CBUQ aplicado	-	R\$/ton	R\$ 230,00	R\$ 232,65
C	Quantidade de massa x Custo de usinagem/aplicação	A x B	R\$	R\$ 691.353,94	R\$ 507.710,67
D	Teor de asfalto	-	% Em peso	7,0%	7,5%
E	Custo do asfalto por tonelada	-	R\$/ton	R\$ 778,58	R\$ 787,53
F	Custo do asfalto no CBUQ	A x D x E	R\$	R\$ 163.822,63	R\$ 128.900,01
G	Custo total da obra	C + F	R\$	R\$ 855.176,57	R\$ 636.610,69

Fonte: Prefeitura de Tucuruí. (Adaptado pelos autores)

Levando em consideração que o custo de usinagem e aplicação do asfalto modificado é de R\$ 232,65/ton, sendo assim, R\$ 2,65 mais caro que o asfalto convencional que possui o custo de usinagem de R\$ 230,00 que o teor de ligante no CBUQ modificado é de 1,15%, logo, tem-se que o aumento de custo quando se utiliza o revestimento de CBUQ com modificado com agregado borracha/madeira.

A redução de custo total da pavimentação da obra do CBUQ modificado em substituição ao CBUQ convencional chegou a R\$ 218.565,88 (26%) pela redução da espessura da capa de 5 cm para 3,5 cm. Além disso, é necessário também considerar, os aspectos que quanto de manutenção cada tipo de pavimento usa durante sua vida útil, para chegar-se ao real custo deste tipo de pavimento. O custo por metro quadrado de terraplanagem e pavimentação asfáltica convencional do contrato de pavimentação com o BDI (Benefícios e Despesas Indiretas) incluso para execução de pavimento em asfalto convencional com preparo base (R\$ 50,13), com asfalto modificado (R\$ 36,77) e a manutenção em asfalto convencional (R\$ 44,51).

A pesquisa realizada pela Greca Asfalto comparou dois métodos de pavimentação diferentes, ficando evidente então que os custos dos projetos não seriam iguais. Em um estudo, após sete anos de utilização da via, realizou-se uma análise visual e chegou-se à conclusão que aproximadamente 70% do trecho com CAP-50/70 sofreu algum tipo de manutenção dos tipos de degradação dos pavimentos como fissura,

trincas, afundamento, ondulação, buraco, remendo e entre outros, enquanto o asfalto-borracha precisou somente de 10% de reparo (GRECA ASFALTO, 2009), para a nossa realidade, será realizado a estimativa de manutenção no período anual. A Tabela 4 mostra o custo por metro quadrado de manutenção e execução dos dois tipos de pavimentos.

Na somatória dos custos de execução e manutenção teria se uma redução de 30% com a implantação do CBUQ modificado no lugar do CBUQ convencional. Além disso, caso seja realizado a manutenção em três quilômetros e meio anualmente das vias do município com o CBUQ convencional, o custo de manutenção seria de R\$ 1.219.735,94 da área total da capa (22.348,60 m<sup>2</sup>), enquanto o CBUQ modificado seria de R\$ 857.060,13 chegando-se uma redução de R\$ 362.675,80 anual de custo de manutenção em reparos das vias.

Tabela 4 – Custo por metro quadrado de manutenção e execução

Grandezas	Cálculo	Unidade	Convencional	Modificado
Execução do pavimento com preparo de base em extensão		m	R\$ 3.508,90	R\$ 3.508,90
Custo de execução do pavimento com preparo de base		R\$/m <sup>2</sup>	R\$ 50,13	R\$ 36,77
Manutenção do pavimento no período de 1 ano	-	% m <sup>2</sup>	10%	5%
Custo geral da manutenção do pavimento	-	R\$/m <sup>2</sup>	R\$ 44,51	R\$ 31,52
Percentual de custo de manutenção do pavimento	C x D	R\$/m <sup>3</sup>	R\$ 4,45	R\$ 1,58
Custo de execução + manutenção do pavimento	B + E	R\$/m <sup>2</sup>	R\$ 54,58	R\$ 38,35

Fonte: Greca Asfalto - Estudo Ecoflex, 2009. (Adaptado pelos autores)

### 3.7 Fluxo de caixa

Para a elaboração do fluxo de caixa anual, ou seja, as entradas e saídas de valores, considerou-se como receita mensal na produção do asfalto modificado a pavimentação de 1.7 km usando apenas pneus inservíveis de Tucuruí, como redução de compra de matéria-prima (R\$ 95.328,20), custo de manutenção das vias (R\$ 13.793,90) e o frete para transporte (R\$ 14.740,20) de pneus inservíveis para o ponto de coleta em Ananindeua (PA).



Os custos fixos e variáveis para a operação da usina de reciclagem, representando por 87,44% (R\$ 74.547,16) do custo mensal de energia elétrica, logo após a depreciação da usina de reciclagem e o misturador com 10,55% (R\$ 8.994,58) para evitar a obsolescência natural ou desgaste com uso na produção para os próximos 10 anos. A estimativa dos principais custos fixos e variáveis de operação da usina de reciclagem chegou-se a um valor mensal de R\$ 85.259,74 e R\$ 1.023.116,93 anual.

O saldo sobre a diferença das receitas obtidas anualmente (R\$ 1.486.347,61) e os custos (R\$ 1.023.116,93) completam o detalhamento do fluxo de caixa, finalizado em R\$ 33.206,08 mensal e R\$ 463.230,68 ao ano. Dessa forma, tendo o saldo do fluxo de caixa positivo para o seu planejamento de execução.

### 3.8 Projetado

No cenário projetado no período de 10 anos da usina de reciclagem, o município economizaria ao ano em matéria-prima, manutenção das vias e em frete, aproximadamente R\$ 1.486.347,61 e para o funcionamento da usina de reciclagem com custos fixos e variáveis em R\$ 915.181,93 e a depreciação dos maquinários da usina e do misturador em R\$ 107.935, total de R\$ 1.023.116,93 obtendo um lucro líquido de R\$ 463.231 e lucro livre de R\$ 571.166 a diferença está apenas na nomenclatura, enquanto o lucro líquido é um termo contábil, o lucro livre é um termo gerencial. No fundo, ambos dão o resultado de receitas menos as despesas, o percentual de lucratividade do investimento inicial sobre o lucro líquido é de 15,51% no final do período.

Para o prazo médio de retorno do investimento, identificado o capital total disponível para o projeto como investimento inicial em R\$ 1.101.096,29 e um lucro livre projetado em R\$ 571.166 ao ano, a usina de reciclagem apresentará um retorno do investimento em 23 meses, apresentando o TIR em 51,03%, no período de 10 anos tendo o seu valor presente líquido em R\$ 4.610.560,50. A rentabilidade da usina, considerando o investimento inicial, com o saldo do fluxo de caixa mensal, chegou-se a 2,7% acima do desempenho da caderneta de poupança em 8,5% ao ano.

### 3.9 Pessimista

No cenário pessimista no período de 10 anos da usina de reciclagem considerou-se o aumento dos custos operacionais em 10% e do investimento inicial em 15% Neste cenário, o município economizaria ao ano em matéria-prima, manutenção das vias e

em fretes, aproximadamente R\$ 1.337.713 e para o funcionamento da usina de reciclagem com custos fixos e variáveis em R\$ 1.006.700 e a depreciação dos maquinários da usina e do misturador em R\$ 124.125, total de R\$ 1.130.825 obtendo um lucro líquido em R\$ 206.887 e lucro livre em R\$ 331.013 para o percentual de lucratividade sobre o lucro líquido são 6,88% no final do período.

Na análise sobre o prazo médio de retorno do investimento, identificado o capital total disponível para o projeto como investimento inicial em R\$ 1.266.260,73 e um lucro livre projetado em R\$ 331.013 ao ano, a usina de reciclagem apresentará um retorno do investimento em 45 meses, apresentando o TIR em 22,78%, no período de 10 anos tendo o seu valor presente líquido em R\$ 2.043.866,51. A rentabilidade da usina, considerando o investimento inicial, com o saldo do fluxo de caixa mensal, chegou-se a 1,4% acima do desempenho da caderneta de poupança em 8,5% ao ano.

### 3.10 Otimista

No cenário otimista no período de 10 anos da usina de reciclagem considerou-se a redução dos custos operacionais em 10% e do investimento inicial em 15% com as informações do cenário projetado, o município economizaria ao ano em matéria-prima, manutenção das vias e em frete, aproximadamente R\$ 1.634.982 e para o funcionamento da usina de reciclagem com custos fixos e variáveis em R\$ 823.664 e a depreciação dos maquinários da usina e do misturador em R\$ 91.745, total de R\$ 915.408 obtendo um lucro líquido em R\$ 719.574 e lucro livre em R\$ 811.319 para o percentual de lucratividade sobre o lucro líquido são 24,14% no final do período.

O retorno do investimento, identificado o capital total disponível para o projeto como investimento inicial em R\$ 935.931,85 e um lucro livre projetado em R\$ 811.319 ao ano, a usina de reciclagem apresentará um retorno do investimento em 13 meses, apresentando o TIR em 86,52%, no período de 10 anos tendo o seu valor presente líquido em R\$ 7.177.254,48. A rentabilidade da usina, considerando o investimento inicial, com o saldo do fluxo de caixa mensal, chegou-se a 6,4% acima do desempenho da caderneta de poupança em 8,5% ao ano.

Os diferentes cenários de viabilidade técnico-econômica da usina de reciclagem de pneus ao processo de produção do asfalto convencional para modificado, estão apresentados de forma resumida na Tabela 5, todas as simulações do estudo foram apenas dos recursos disponíveis para a produção do agregado reciclado gerado pelo

município como um projeto pioneiro, com intuito que os outros municípios façam parte dessa identidade visual de cidade sustentável enviando os pneus inservíveis para o polo da reciclagem.

Tabela 5 – Comparação dos cenários de viabilidade da usina de reciclagem

<b>Cenários</b>	<b>Pessimista</b>	<b>Projetado</b>	<b>Otimista</b>
Variação nos custos/despesas	+10%	0%	-10%
Variação nos investimentos	+15%	0%	-15%
<b>Indicadores</b>	<b>Pessimista</b>	<b>Projetado</b>	<b>Otimista</b>
VPL	R\$ 2.043.867	R\$ 4.610.560	R\$ 7.177.254
TIR	22,78%	51,03%	86,52%
<i>Payback</i>	45 meses	23 meses	13 meses
Rentabilidade	16,3%	42,1%	76,9%
Índice de Lucratividade	6,9%	15,5%	24,1%

Fonte: Autores (2019).

#### 4 CONCLUSÕES

##### 5



Na análise identificou-se que Tucuruí gera cerca de 4.011 pneus (18 toneladas) e as cidades adjacentes 8.031 (57,5 toneladas) mensalmente, materiais passíveis de reciclagem e com uma gama variedades de aplicações, além disso, percebeu-se através da pesquisa a precariedade das empresas e da Prefeitura Municipal de não cumprirem com a lei do CONAMA nº 416/2009 e a fiscalização por parte do poder público.

A composição do traço do CBUQ utilizado pela pesquisa do Coelho (2018), levanta os seguintes pontos relevantes em relação a qualidade do material, processo e o serviço prestado pelas empresas através de licitações que o município apresenta. Esse método torna-se essencial por apresentar um produto excelente utilizando resíduos sólidos em sua composição para a sua viabilidade técnica-econômica e ambiental aos municípios interessados.

Considera-se que a instalação de uma usina de reciclagem possa reduzir grande parte dos problemas associados à disposição irregular e à carência de alternativas para os

pneus na região e prolongar a vida útil das vias públicas do município, além disso, proporcionar empregos diretos e indiretos nas regiões envolvidas nesse empreendimento.

Outro fator relevante para o sucesso do projeto, é a atuação direta do município, visto que, essa iniciativa é destinada exclusivamente para a população e ao meio ambiente da cidade, criando alternativas ao poder público. O município dispõe de um sistema precário e ineficiente de gestão de resíduos sólidos sobre a sua demanda atual.

Por conta disso, propõe-se uma ação conjunta com a proposta da usina de reciclagem que o município atue com medidas mitigadoras para minimizar os impactos ambientais e sociais decorrentes da geração de resíduos e disposição inadequada dos pneus, essas ações podem ser: instalação de ecopontos na cidade e nas cidades adjacentes; aumento de período de recolhimento dos pneus nos bairros e; principalmente a conscientização da população.



## REFERÊNCIAS

BERNUCCI, L. L. B.; MOTTA, L. M. G. DA; CERATTI, J. A. P. & SOARES, J. B. (2008). **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobrás.

CALLISTER JR, W. D.; & RETHWISCH, D. G. (2012). **Fundamentals of materials science and engineering: an integrated approach**. John Wiley & Sons.

COELHO, J.G.M.; MONTEIRO, L. J. P.; DE SOUSA, J.G.M. & DIAS, C.G.B.T. **Asfalto ambientalmente correto: uma nova tendência de mercado**. XXXIX Congresso Brasileiro de educação em engenharia – COBENGE, 2011.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **RESOLUÇÃO CONAMA nº. 416**, de 30 de setembro de 2009. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=616>>. Acesso em: 15 março 2018.

DIAS, Á. J.; DE PAULA, A. B.; NETO, G. G. F.; BERNARDES, M. S. & WAGNER, R. A. V. **O Uso de Borracha em Ligantes Asfálticos para Pavimentação de Rodovias no estado de Minas Gerais**. *Blucher Engineering Proceedings*, v. 1, n. 3, 2014, p. 3-4.

DOS SANTOS GARCIA, M. B.; NETO, J. L.; MENDES, J. G.; DE FREITAS XERFAN, F. M.; DE VASCONCELLOS, C. A. B. & FRIEDE, R. R. **Resíduos sólidos: responsabilidade compartilhada. Semioses**, v. 9, n. 2, 2016, p. 77-91.

FREITAS, S. S.; NÓBREGA, C. C. **Os benefícios do coprocessamento de pneus inservíveis para a indústria cimenteira. Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.19, n. 3, p. 293-300, 2014.

GRECA ASFALTOS. **Linha Ecoflexpave (2009)**. Disponível em: <<http://www.asfaltoborracha.com.br>>. Acesso em: 29 março 2018.

GULARTE, L. C. P.; DE LIMA, J. D.; OLIVEIRA, G. A.; TRENTIN, M. G.; & SETTI, D. **Estudo de viabilidade econômica da implantação de uma usina de reciclagem de resíduos da construção civil no município de Pato Branco (PR)**, utilizando a metodologia multi-índice ampliada. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, n. 5, p. 985-992, 2017.

LAGARINHOS, C. A. F. & TENÓRIO, J. A. S. **Tecnologias utilizadas para a reutilização, reciclagem e valorização energética de pneus no Brasil**. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 18, n. 2, p. 106-118, 2008.

LOPES, C. E.; MEDEIROS JERÔNIMO, C. E. D.; NOROÑA, A.; MAGALHÃES CEZAR, G.; JÚNIOR, S.; FELIPE, A. & SOUZA MELO, H. N. D. **Reciclagem de pneus inservíveis: estudo comparativo de métodos e quantificação para a cidade do Natal-RN**. In: VI Simpósio Italo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, p. 1-7, 2002.



PREFEITURA DE TUCURUÍ. **Portal da Transparência**. Disponível em: <<http://www.sgptransparenciapmtuc.solucaogestaopublica.com.br>>. Acesso em: 31 dezembro 2018.

SALINI, R. B. **Utilização de borracha reciclada de pneus em misturas asfálticas. Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, p. 120, 2000.

SANTOS, D. X. D.; SILVA, F. R. D. & BERTEQUINI, A. B. T. **Utilização do asfalto borracha em relação ao asfalto convencional**. 2017.

SANTOS, T. A.; GUELBERT, M.; GUELBERT, T. F. & CARDOSO, O. R. (2014). **Mistura asfáltica modificada por borracha de pneus inservíveis, como alternativa sustentável, para aplicação na pavimentação**. *Simpósio Internacional de Gestão de Projetos*, v. 2, 2013, p. 1-17.

SERRAGLIO, Débora. **Análise de projeto de restauração com uso da técnica de reciclagem de pavimento flexível como base para revestimento de asfalto borracha**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. p. 109, 2014.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Revised technical guide lines on environmentally sound management of used tyres**. Basel: UNEP, p. 56, 2010.