



**PRÓ-REITORIA DE PÓS GRADUAÇÃO, PESQUISA E EXTENSÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AVALIAÇÃO DE IMPACTOS
AMBIENTAIS**

COSME NEVES MACHADO

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV) DE PAVIMENTO ASFÁLTICO E RÍGIDO NA
BR-163/364/MT**

Canoas

2020

COSME NEVES MACHADO

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV) DE PAVIMENTO ASFÁLTICO E RÍGIDO NA
BR-163/364/MT**

Projeto de pesquisa apresentado para fins de Exame de Qualificação do Programa de Pós-Graduação em Avaliação de Impactos Ambientais, da Universidade La Salle.

Orientação: Prof. Dra. Fernanda Siqueira Souza

Coorientação: Prof. Dr. Rodrigo Malysz

Canoas

2020

COSME NEVES MACHADO

Dissertação aprovada para obtenção do título de mestre, pelo Programa de Pós-Graduação Avaliação de Impactos Ambientais, da Universidade La Salle.

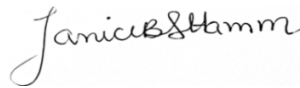
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Bóris Casanova Sokolovicz
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões



Prof. Dr. Alexandre Knop
Universidade La Salle



Prof.^a Dr.^a Janice Botelho Souza Hamm
Universidade La Salle



Prof. Dr. Rodrigo Malysz
Coorientador - Universidade do Vale do Rio dos Sinos



Prof.^a Dr.^a Fernanda Siqueira Souza
Orientadora e Presidente da Banca - Universidade La Salle

Área de concentração: Avaliação de Impactos Ambientais

Curso: Mestrado em Avaliação de Impactos Ambientais

Canoas, 30 de setembro de 2020.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Composição estrutural dos pavimentos	17
Figura 2 - Distribuição das tensões nos diferentes tipos de pavimento.....	18
Figura 3 - Impacto ambiental potencial de aquecimento global.....	19
Figura 4 - Fases de uma ACV	25
Figura 5 - Ciclo de vida completo de um pavimento.....	27
Figura 6 - Fluxograma da metodologia.....	29
Figura 7 – Estrutura do pavimento asfáltico	30
Figura 8 – Estrutura do pavimento rígido	30
Figura 9 – Dimensões geométrica do pavimento asfáltico	34
Figura 10 – Demonstrativo do cálculo do quantitativo do serviço de BGTC.....	35
Figura 11 – Energia Primária (Gráfico).....	62
Figura 12 – Emissões de CO ₂ equivalente (Gráfico).....	65
Figura 13 – Comparativo Geral (Gráfico)	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Soluções Conservação Pavimento Asfáltico	31
Quadro 2 - Soluções Restauração Pavimento Asfáltico	33
Quadro 3 - Soluções Conservação Pavimento Rígido	33
Quadro 4 - Soluções Restauração Pavimento Rígido	34
Quadro 5 - Exemplo do cálculo dos quantitativos dos materiais e equipamentos por serviço.....	38
Quadro 6 – Exemplo quantitativos totais dos equipamentos.....	39
Quadro 7 – Distâncias médias de transporte	41
Quadro 8 – Exemplo de cálculo da energia primária relacionada aos equipamentos	41
Quadro 9 – Exemplo de cálculo das emissões CO ₂ totais calculadas para os equipamentos.....	42
Quadro 10 – Composição de preço do serviço BGTC de acordo com o SICRO 2....	44
Quadro 11 - Quantitativos construção pavimento asfáltico	46
Quadro 12 - Quantitativos construção pavimento rígido	46
Quadro 13 - Quantitativos conservação e restauração pavimento asfáltico.....	46
Quadro 14 - Quantitativos conservação e restauração pavimento rígido.....	47
Quadro 15 - Quantitativos matérias-primas construção	48
Quadro 16 - Quantitativos matérias-primas conservação e restauração.....	49
Quadro 17 - Quantitativos de energia construção	50
Quadro 18 - Quantitativos de energia conservação e restauração	51
Quadro 19 - Quantitativos de emissões construção	52
Quadro 20 - Quantitativos de emissões conservação e restauração	53
Quadro 21 - Quantitativos de energia equipamentos construção.....	54

Quadro 22 - Quantitativos de energia equipamentos conservação e restauração	55
Quadro 23 - Quantitativos de emissões equipamentos construção	56
Quadro 24 - Quantitativos de emissões equipamentos conservação e restauração.	58
Quadro 25 – Quantitativo de energia do transporte na construção	59
Quadro 26 - Quantitativo de energia do transporte na conservação e restauração ..	60
Quadro 27 – Quantitativo das emissões no transporte na construção	60
Quadro 28 - Quantitativo das emissões no transporte na conservação e restauração	61
Quadro 29 - Valores da energia primária	61
Quadro 30 - Emissões de CO ₂	64
Quadro 31 – Demonstrativo de Quantidades e Preços - construção	67
Quadro 32 – Demonstrativo de Quantidades e Preços - conservação e restauração	69
Quadro 33 – Custos Totais.....	70
Quadro 34 – Comparativo Geral	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV	Avaliação do ciclo de vida
BGTC	Brita graduada tratada com cimento
CBUQ	Concreto betuminoso usinado a quente
CCR	Concreto compactado com rolo
CNT	Confederação Nacional do Transporte
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
FHWA	<i>Federal Highway Administration</i>
GEE	Gases de efeito estufa
ICV	Inventário do ciclo de vida
IRI	<i>International Roughness Index</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LCA	<i>Life cycle analysis</i>
MELI	<i>Maarakentamisen ELInkaariarviointi</i>
MRI	<i>Midwest Research Institute</i>
NBR	Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas
PIN	Plano de Integração Nacional
SICRO	Sistema de Custos Referenciais de Obras

LISTA DE SÍMBOLOS

CO ₂	Dióxido de carbono
g/MJ	Gramas por mega joule
KW/h	Quilowatts hora
MJ	Mega Joule
TJ	Tera Joule
t	Tonelada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Objetivo Geral	15
1.1.2 Objetivos Específicos	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 SITUAÇÃO DAS RODOVIAS BRASILEIRAS	16
2.2 CARACTERÍSTICAS DOS TIPOS DE PAVIMENTO	16
2.3 FATOR AMBIENTAL AVALIADO	18
2.3.1 Potencial de aquecimento global.....	18
2.4 ASPECTOS ECONÔMICOS	19
2.5 HISTÓRICO DA ACV	20
2.6 HISTÓRICO ACV NA PAVIMENTAÇÃO	22
2.7 TÉCNICA ACV E SUAS CARACTERÍSTICAS.....	24
2.7.1 Definição de objetivo e escopo.....	25
2.7.2 Análise do inventário	26
2.7.3 Avaliação de impacto	26
2.7.4 Interpretação	26
2.8 TÉCNICA ACV E SUAS CARACTERÍSTICAS APLICADA A PAVIMENTO.....	26
3 METODOLOGIA	28
3.1 ETAPA 1 – PAVIMENTOS ANALISADOS	30
3.2 ETAPA 2 – DEFINIÇÃO DO PERÍODO DE ANÁLISE	30
3.3 ETAPA 3 – DEFINIÇÃO DOS SERVIÇOS DE CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO	31

3.4 ETAPA 4 – CÁLCULO DOS QUANTITATIVOS DOS SERVIÇOS	34
3.5 ETAPA 5 – APLICAÇÃO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	35
3.5.1 Definição de objetivo e escopo.....	35
3.5.2 Análise de Inventário de Ciclo de Vida	37
3.6 ETAPA 6 – CÁLCULO DOS CUSTOS RELACIONADOS AOS PAVIMENTOS ANALISADOS	43
3.7 ETAPA 7 – ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	45
4 RESULTADOS	45
4.1 ANÁLISE DE INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA	45
4.1.1 Produção de materiais.....	47
4.1.2 Equipamentos construção, conservação e restauração	54
4.1.3 Transportes	59
4.2 ANÁLISE DE IMPACTO DO CICLO DE VIDA	61
4.2.1 Análise do consumo de energia primária	61
4.2.2 Análise do potencial de aquecimento global	64
4.3 ANÁLISE DOS CUSTOS.....	66
4.3.1 Custos Construção	66
4.3.2 Custos de Conservação e Restauração	68
4.3.3 Custos Totais	70
4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS TOTAIS	71
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
5.1 Conclusões	75
5.2 Sugestões para trabalhos futuros	76
REFERÊNCIAS	77
APÊNDICES	81

RESUMO

A exigência de ações sustentáveis por parte da sociedade acarreta um maior cuidado na produção de produtos e serviços, deste modo, o processo de escolha da alternativa de pavimento a ser executado em uma obra, pode ser objeto de avaliação quanto a sua sustentabilidade. A análise do ciclo de vida – LCA (Life Cycle Analysis) é uma ferramenta que possibilita a avaliação dos aspectos relativos à sustentabilidade das alternativas de construção do pavimento. Outro fator de relevância são os custos envolvidos na implementação da solução de pavimentação, devendo ser analisados em conjunto com os possíveis impactos ambientais das alternativas de pavimentação. No presente trabalho desenvolvido é utilizada a ferramenta da análise do ciclo vida para a verificação dos possíveis impactos ambientais gerados pelas alternativas de pavimentação estudadas e na avaliação de seus custos é utilizado o Sistema de Custos Referencias de Obras (SICRO 2) do DNIT. Foram avaliadas duas alternativas de estruturas de pavimento asfáltico e rígido. Para ambas as alternativas foi adotado o mesmo período de análise, 20 anos. Para cada alternativa de pavimento foi aplicada a ferramenta ACV nas fases de produção de materiais, construção e transporte, nas etapas de construção, conservação e restauração, as fases de uso e fim de vida do pavimento não foram consideradas. O maior gasto energético e emissões foi verificado na fase de produção dos materiais em ambos pavimentos. O pavimento rígido apresentou maior quantidade de emissões de CO₂ equivalente, já o pavimento asfáltico apresentou um maior gasto energético entre os pavimentos analisados. Se verificou que o pavimento de menor custo ao longo do período analisado foi o pavimento rígido.

PALAVRAS-CHAVE: Pavimento Rígido, Pavimento Asfáltico, Custos, ACV.

ABSTRACT

The demand for sustainable actions by society requires greater care in the production of products and services, thus, the process of choosing the pavement alternative to be constructed, can be assessed as to its sustainability. Life cycle analysis - LCA (Life Cycle Analysis) is a tool that makes it possible to assess aspects related to the sustainability of the alternatives for pavement construction. Another relevant factor is the costs involved in implementing the paving solution, which must be analyzed together with the possible environmental impacts of the paving alternatives. In the present work developed, the life cycle analysis tool is used to verify the possible environmental impacts generated by the studied paving alternatives and in the evaluation of their costs, the DNIT Reference Works Cost System (SICRO 2) is used. Two alternatives of asphalt and rigid pavement structures were evaluated. For both alternatives, the same period of analysis, 20 years, was adopted. For each pavement alternative, the ACV tool was applied in the material production, construction and transport phases, in the construction, conservation and restoration phases, the use and end of life phases of the pavement were not considered. The highest energy expenditure and emissions were observed in the production of materials on both pavements. The rigid pavement presented a greater amount of CO₂ equivalent emissions, whereas the asphalt pavement presented a greater energy expenditure among the analyzed pavements. It was found that the lowest cost pavement over the analyzed period was the rigid pavement.

KEYWORDS: Rigid Pavement, Asphalt Pavement, Costs, LCA

1 INTRODUÇÃO

Em decorrência da adoção por parte dos agentes governamentais do modal rodoviário como prioritário em relação aos demais modais, ferroviário e hidroviário, tem-se como uma de suas consequências, que a maior parte do transporte de cargas ocorre por meio de rodovias.

De acordo com Rodrigues (2011), essa priorização sobre os demais modais ocorreu não só por uma simples mudança entre os meios de mobilidade, mas também em razão da sua relação com outras instâncias da sociedade, tal qual a econômica, que foi um fator preponderante para sua ocorrência, ademais o surgimento da indústria automotiva que impulsionou a mudança do perfil econômico, resultando na industrialização nacional.

Segundo Rodrigues (2011), o desenvolvimento socioeconômico trouxe a necessidade de criar linhas de comunicação entre o interior e a costa, dando surgimento a precários veios que eram utilizados para a passagem de pessoas e tropas de animais, posteriormente surgiu uma incipiente, porém substancial malha ferroviária, culminando por fim na atual gigantesca malha rodoviária.

Atualmente, no Brasil, a malha rodoviária é o principal meio de transporte de mercadorias e deslocamento de pessoas, sendo responsável por aproximadamente 90% do transporte de passageiros e mais de 60% no transporte de cargas que circulam no País. Da malha atual de 1.720.756 km, somente 211.468 km são pavimentados, ou seja, apenas 12,3% das rodovias brasileiras (CNT, 2017).

Nesse contexto, a utilização do pavimento asfáltico é a solução largamente utilizada frente ao pavimento rígido, o qual representa menos de 1% da malha rodoviária pavimentada (CNT, 2017). Como principais fatores para a baixa utilização dos pavimentos rígidos, estão o seu alto custo inicial e a falta de experiência com sua execução. No entanto, quando bem executado requer menos intervenções de manutenção e apresenta um período de vida útil superior ao pavimento asfáltico (CNT, 2017), tornando-se desta forma uma alternativa atraente.

Como todas as atividades humanas, a construção dos pavimentos gera um impacto ambiental em toda sua cadeia de produção que deve ser considerado e analisado desde o transporte dos materiais utilizados na sua construção, as produções de ligantes asfálticos, o cimento Portland e os materiais pétreos que estão relacionados a altos consumos energéticos.

No entanto, estes fatores ambientais são desconsiderados atualmente no Brasil, para a tomada de decisão quanto a melhor alternativa de pavimentação a ser empregada, pois somente os aspectos técnicos e econômicos são analisados. Diferente de países como Suíça, Inglaterra, França, Estados Unidos e Portugal, que estão empregando a técnica de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para identificação dos impactos e auxílio na tomada de decisão para a melhor alternativa de pavimentação (SAVIETTO, 2017).

Atualmente, é notório um comportamento por parte da sociedade exigindo ações sustentáveis, o que demanda um maior cuidado na produção de produtos e serviços. Aliado a isso, existe o alto valor empregado na execução das obras de pavimentação. Além do que, os projetos de pavimentação executados no Brasil, nos dias atuais, não levam em consideração os aspectos sustentáveis para definição da alternativa a ser adotada.

Nesta senda, uma análise comparativa entre os impactos ambiental e econômico na alternativa de pavimentação a ser adotada se torna relevante. E espera-se poder oferecer aos órgãos responsáveis pela destinação dos recursos, elementos que ajudem na tomada de decisão e que contemplem elementos mais importantes para a sociedade atual.

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo efetuar uma análise comparativa entre as alternativas de pavimentos flexíveis e rígidos, sobre os aspectos econômicos e impactos ambientais, com a investigação sobre o impacto ambiental para cada alternativa e a análise econômica correspondente.

Assim, se espera obter uma alternativa mais viável considerando os aspectos econômicos e ambientais, possibilitando uma melhor segurança na destinação dos recursos empregados nas soluções de pavimentação.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Efetuar uma avaliação do ciclo de vida considerando as alternativas de pavimentos rígidos e asfálticos na construção da pista nova da duplicação da BR-163/364/MT (Km 278,9 – Km 321,3).

1.1.2 Objetivos Específicos

- Por meio da aplicação da avaliação do ciclo de vida verificar qual fase corresponde ao maior consumo energético;
- Por meio da aplicação da avaliação do ciclo de vida verificar qual fase corresponde às maiores emissões;
- Aplicando a avaliação do ciclo de vida verificar qual alternativa de pavimento responde pelo maior gasto energético;
- Aplicando a avaliação do ciclo de vida verificar qual alternativa de pavimento responde pelas maiores emissões;
- Através do SICRO verificar qual alternativa de pavimento apresenta maior custo de construção.
- Através do SICRO verificar qual alternativa de pavimento apresenta maior custo de conservação e restauração ao longo do período analisado.
- Através do SICRO verificar qual alternativa de pavimento apresenta maior custo total ao longo do período analisado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SITUAÇÃO DAS RODOVIAS BRASILEIRAS

Segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT), a malha rodoviária pavimentada no Brasil ainda é muito pequena quando comparada à extensão total de rodovias, apesar da importância deste modal para a economia nacional, bem como de densidade muito baixa em comparação com outros países de dimensões territoriais similares, como os Estados Unidos e a China. A extensão total da malha rodoviária brasileira é de 1.720.756 quilômetros, destes 1.351.979 quilômetros são de rodovias não pavimentadas, 211.468 quilômetros de rodovia pavimentadas e 157.309 quilômetros de rodovias planejadas (CNT, 2017).

De acordo com a CNT (2017), a situação da condição da superfície dos pavimentos no Brasil é agravada pelo seu desgaste e a má condição. Esta situação pode ser analisada de acordo com o tipo de gestão das rodovias, públicas ou privadas.

Da análise das condições da superfície do pavimento em rodovias federais públicas, em 2016, constatou-se que cerca de 50% dos pavimentos estavam desgastados e que a extensão de pavimento, considerada em perfeito estado, representava menos de um terço do total (CNT, 2017).

Em relação às condições da superfície do pavimento em rodovias federais concedidas, em 2016 já é possível observar uma melhora na qualidade desses pavimentos, aumentando, assim, sua extensão de pavimento classificada como perfeito e respectiva redução da extensão com trinca em malha e remendos (CNT, 2017).

2.2 CARACTERÍSTICAS DOS TIPOS DE PAVIMENTO

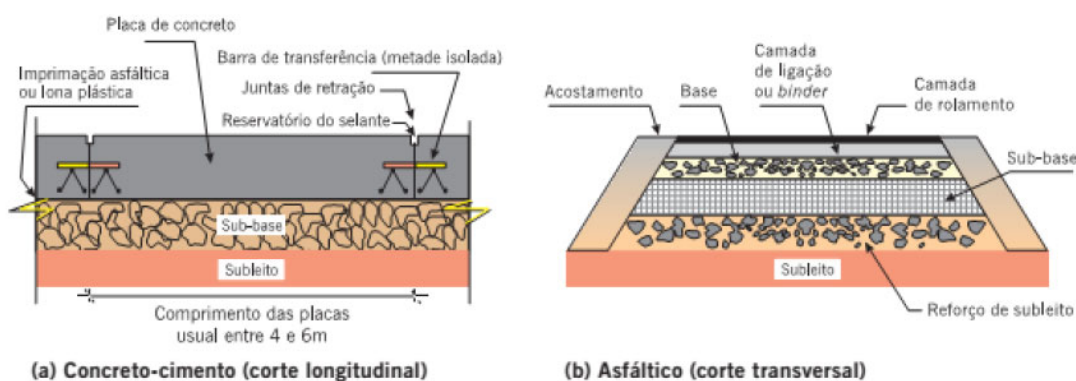
Conforme o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT, 2017), o pavimento é constituído por uma estrutura de múltiplas camadas com espessuras finitas, construídas sobre a superfície final de terraplenagem, com a finalidade técnica e econômica de resistir aos esforços originários do tráfego de veículos e do clima, além de propiciar melhores condições de conforto, economia e

segurança aos usuários. Sendo classificado em dois tipos básicos, asfáltico e rígidos, a sua nomenclatura é diferenciada em função do tipo de revestimento.

Os pavimentos asfálticos são constituídos normalmente de quatro camadas: revestimento, base, sub-base e reforço de subleito. O revestimento é composto por uma mistura de agregados pétreos e ligante asfáltico basicamente (DNIT, 2017).

Pavimentos rígidos têm o seu revestimento constituído de placas de concreto de cimento Portland, que podem ser armadas ou não, executadas sobre uma camada de sub-base, dispensando a execução da base (DNIT, 2017). A Figura 1 apresenta a composição estrutural de cada tipo de pavimento.

Figura 1 - Composição estrutural dos pavimentos



Fonte: DNIT (2017).

De acordo com Francisco (2012), os comportamentos estruturais dos pavimentos flexíveis e rígidos ocorrem de maneiras distintas em relação as mesmas ações. Nos pavimentos flexíveis há uma maior concentração de tensões no solo de fundação. Já nos pavimentos rígidos ocorre uma maior distribuição de tensões no solo de fundação, desta forma a tensão máxima é menor se comparada com a tensão em pavimentos flexíveis, como se pode ver na Figura 2.

Figura 2 - Distribuição das tensões nos diferentes tipos de pavimento



Fonte: Francisco (2012).

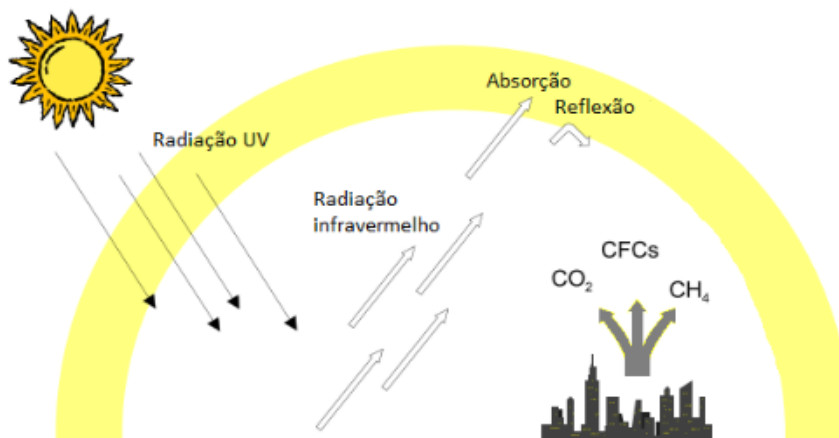
2.3 FATOR AMBIENTAL AVALIADO

No presente trabalho são avaliados os fatores ambientais mais representativos e considerados usualmente nos trabalhos pesquisados. Neste sentido, o fator avaliado foi o potencial de aquecimento global, que está relacionado com a emissão de gás carbônico.

2.3.1 Potencial de aquecimento global

Segundo Wenzel, Hauschild e Alting (1997 *apud* SAVIETTO, 2017), primeiramente é necessário compreender o processo natural de aquecimento da Terra para entender o impacto do potencial de aquecimento global. Neste processo natural, parte das radiações solares atingem a superfície do planeta e é absorvida e a outra parte é refletida como radiação infravermelha. Essa fração de radiação passa por outra divisão, resultando na fração da radiação absorvida e a fração refletida, que volta a ser radiada em todas as direções da superfície terrestre, conforme ilustra a Figura 3.

Figura 3 - Impacto ambiental potencial de aquecimento global



Fonte: PE INTERNACIONAL (2013 *apud* SAVIETTO, 2017)

No entanto, o lançamento de alguns tipos de emissões na atmosfera pode favorecer para que esse processo, então natural, seja intensificado acarretando desta maneira um aumento na temperatura média.

De acordo com Molion (2008), a radiação que é refletida pela superfície é absorvida por gases, como vapor d'água, gás carbônico, metano, ozônio, óxido nítrico e compostos de clorofluorcarbono, sendo o vapor d'água o principal gás responsável por essa absorção da radiação, que gera o incremento de temperatura. O gás carbônico o segundo em importância, com concentração até 100 vezes inferior à do vapor d'água. No entanto, o indicador desse impacto potencial é expresso em quantidade de gás carbônico equivalente.

2.4 ASPECTOS ECONÔMICOS

De acordo com Robinette e Epps (2010), os departamentos tomadores de decisões responsáveis pelas rodovias estão enfrentando um aumento nos preços das construções e ao mesmo tempo uma limitação de recursos. Em conjunto a estes fatos ocorre uma demanda por novas construções e manutenção das rodovias. Desta maneira, os departamentos responsáveis devem analisar as alternativas e métodos, bem como as alternativas de materiais a serem utilizadas.

Assim, segundo a CNT (2017), no Brasil os maiores volumes de investimento público em infraestrutura de transporte são destinados a rodovias, reforçando a necessidade de se realizar uma análise do melhor custo-benefício das opções disponíveis na definição de qual tipo de pavimento é o mais adequado a cada caso.

De acordo com Beuren e Schaeffer (1997 *apud* SOUZA, 2017), os custos dos produtos relacionados a seu ciclo de vida devem ser acumulados para gerar um quadro de rentabilidade em longo prazo, e dar suporte para decisões-chave sobre a linha do produto analisado, da participação no mercado e da política de preços.

No Brasil, os custos relacionados às obras de infraestrutura de transporte com recursos da União têm a exigência, a partir de 2010, na Lei de Diretrizes Orçamentárias (LDO) e posteriormente pelo Decreto Presidencial nº 7.983/2013, da utilização do SICRO 2 para a definição destes custos (DNIT,2017).

O SICRO 2 consiste em um levantamento associado a um conjunto de variáveis, onde a metodologia de formação de preços considera a grande variação regional e temporal destes valores, em função da disponibilidade dos insumos bem como das distâncias de transportes em relação aos centros de produção.

São considerados também fatores econômicos como a demanda gerada pelo nível de investimento em obras da região, não se tratando apenas de um simples conjunto de tabelas de preços (Souza,2017).

2.5 HISTÓRICO DA ACV

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) teve seu início na década de 1960, em razão da preocupação com limitações de matéria-prima e recursos energéticos que despertaram interesse em encontrar maneiras de contabilizar cumulativamente a energia, usar e projetar futuros suprimentos e uso de recursos, conforme (CURRAN, 2006). Associado a este movimento há a inicialização da tomada de conscientização sobre os problemas ambientais começando a se tornar global (ACV, s/d).

O estudo interno realizado por pesquisadores em 1969 para a The Coca-Cola Company foi onde se formaram as bases para os métodos atuais de análise de inventário de ciclo de vida, neste estudo foi elaborado um inventário das matérias

primas e dos combustíveis utilizados e das cargas ambientais do processo produtivo de cada embalagem de acordo com (CURRAN, 2006).

Em 1974 a Midwest Research Institute (MRI), responsável pelo estudo, aprimora o modelo por meio de um novo estudo para a agência norte americana de proteção ambiental, (Environmental Protection Agency – EPA), sendo este o ponto de partida do que se chamaria Avaliação do Ciclo de Vida, conforme (CHEHEBE, 1997).

Entre 1975 e o início dos anos 80, em razão da crise do petróleo, ocorre uma modificação relativa as preocupações ambientais com uma maior preocupação com as questões de risco e gestão de resíduos domésticos, diminuindo assim o interesse por estudos abrangentes como a Avaliação do Ciclo de Vida. Contudo, o desenvolvimento do inventário de ciclo de vida continuou a ser realizado e sua metodologia aprimorada por um fluxo lento de estudos por ano, em sua maioria focados nas necessidades de energia, de acordo com (CURRAN, 2006).

A partir de 1988 com os resíduos sólidos se tornando uma questão mundial, a ACV ressurgiu novamente como uma ferramenta para analisar os problemas ambientais. Deste modo, uma ampla base de consultores e pesquisadores ao redor do mundo tem aperfeiçoado e expandido a metodologia do inventário de ciclo de vida, possibilitando atingir um novo ponto de evolução para ACV (SETAC, 1991; 1993; 1997 *apud* CURRAN, 2006).

Em 1997 é lançada a ISO 14040 Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura com a função de padronizar a metodologia da ACV, tal necessidade foi originada em razão das preocupações com o uso inadequado da ACV por parte de fabricantes de produtos em seu marketing, podendo gerar um anúncio de produto de forma enganosa, conforme (CURRAN, 2006).

Em 2002 é lançada uma iniciativa para o Ciclo de Vida, promovida pela associação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a SETAC, com objetivo de estimular a prática da abordagem do ciclo de vida pelo mundo (UNEP, 2005 *apud* ACV, s/d).

Atualmente, embora não seja uma obrigatoriedade o estudo de Ciclo de Vida de produtos, em decorrência da difusão do pensamento do Ciclo de Vida pelo mundo faz com que seja praticamente indispensável sua utilização. Na França a lei Grenelle II, obriga divulgação de informações sobre o teor de carbono, o consumo de recursos

naturais e os impactos ambientais nas embalagens dos produtos (LEGIFRANCE, 2012 *apud* ACV, s/d).

No Brasil, por meio da nova Política Nacional de Resíduos Sólidos foi implementada a responsabilidade compartilhada pelo Ciclo de Vida dos produtos, onde todos os atores envolvidos no processo, desde o fabricante indo até o serviço de limpeza urbana são responsáveis. Com a finalidade de minimizar os resíduos sólidos e rejeitos gerados (BRASIL, 2010 *apud* ACV, s/d).

2.6 HISTÓRICO ACV NA PAVIMENTAÇÃO

Os primeiros modelos de ACV para pavimentação são desenvolvidos no início dos anos 2000, sendo os dois primeiros o Road Model (STRIPPLE, 2001), que pode ser utilizado na escolha do pavimento, bem como inclui todo o processo construtivo. E o segundo, Maarakentamisen ELInkaariarviointi (MELI), que significa o Ciclo de Vida de Terraplenagem (HOLMVIK; WALLIN, 2007), para comparação dos diferentes métodos de construção de rodovias e métodos de engenharia de fundações (MROUEH *et al.*, 2000; LILJENSTROM, 2013).

Uma tese apresentando um modelo detalhado para comparar a sustentabilidade de tabuleiro de pontes de concreto é apresentado em 2004 por Kendall. Em 2006 o Athena Institute publica relatório que indica o consumo de energia primária e de potencial de aquecimento global estimado para a construção e manutenção de pavimento asfáltico e pavimento de concreto de cimento Portland, em vias urbanas e rodovias canadenses. Butt (2012) apresenta três estudos de caso com a completa aplicação da metodologia LCA, tendo como foco o cálculo e alocação de energia utilizada para o ligante e os aditivos (SOUZA, 2017).

Em 2018, foi desenvolvido estudo considerando o aspecto temporal na quantificação dos gases do efeito estufa em LCA de pavimentos asfálticos contendo material reciclado, desenvolvido por Chen e Wang (2018). Constatando que com o aumento de material reciclado há uma redução das emissões dos gases do efeito estufado.

No entanto, os benefícios da redução da utilização de matéria-prima virgem na produção do pavimento asfáltico podem ser compensadas pela diminuição da vida útil do pavimento contendo material reciclado. Indicando que o impacto ambiental do pavimento contendo material reciclado é superestimado se o aspecto temporal não é considerado.

No mesmo ano, foi apresentado estudo desenvolvido por Shi *et al.* (2018), para avaliar a sustentabilidade da utilização de agregados provenientes de pavimento asfáltico reciclado no pavimento de concreto, sendo verificado um benefício econômico e ambiental na sua utilização nas estruturas de pavimentos avaliadas.

Em 2019 foi efetuado em LCA comparativo entre misturas asfálticas a quente e misturas asfálticas mornas em um estudo de caso na China, desenvolvido por Ma *et al.* (2019), onde se concluiu que mistura asfáltica morna é mais ecológica em comparação com a mistura asfáltica a quente.

Ainda em 2019 foi publicado estudo por Wang *et al.* (2019), focado na quantificação do impacto ambiental da preservação do revestimento asfáltico por meio do LCA sendo consideradas às fases de construção e uso. Os resultados evidenciaram que os serviços de preservação do revestimento asfáltico trazem significativos benefícios ambientais na redução das emissões de CO₂ em razão de melhores condições da superfície do pavimento.

Em publicação de 2020, Hasan *et al.* (2020), aplicou o LCA em um estudo de caso em Abu Dhabi para calcular os impactos ambientais em uma rodovia duplicada de 3,5 km. Considerando as fases de extração e produção dos materiais, transporte de materiais e equipamentos, construção, manutenção e reabilitação.

Nas alternativas analisadas foram consideradas a utilização de resíduos de construção reciclados, pavimento asfáltico reciclado, asfalto de mistura quente com aditivos de zeólitas sintéticas e escória como alternativa de material. Os resultados mostraram significantes reduções do impacto ambiental em todos os indicadores, após combinar todas as opções analisadas.

Singh *et al.* (2020), efetuaram um LCA comparativo entre os pavimentos de concreto permeável e pavimento de concreto de cimento *Portland* para diferentes procedimentos de misturas e camadas de base distintas, para verificar o total de

energia e emissões de gases do efeito estufa envolvidas na construção de um novo pavimento.

No Brasil, em 2004, Bandeira e Floriano apresentam relatório abordando o levantamento do passivo e ativo ambientais, contemplando os impactos sobre os meios físicos, biótico e antrópico, em áreas de influência da rodovia, decorridos em razão de obras já existentes ou previamente executadas. Em 2014, Silva et al. Publicaram artigo mostrando a avaliação ambiental de procesos com pavimentos rígidos e asfáltico com análise do ciclo de vida (SOUZA, 2017).

Em 2017, Caldas *et al.* (2017), utilizou a AVC para comparar dois tipos de pavimentos de concreto, um convencional e outro drenante, sendo adotadas duas unidades funcionais, uma delas considerando os efeitos da drenagem proporcionados pelo pavimento drenante.

Foi observado que considerando a primeira unidade funcional, metragem cúbica de concreto produzido, o pavimento de concreto apresentou melhor desempenho ambiental. Já quando observado o efeito da drenagem o pavimento drenante apresenta um melhor desempenho ambiental. Concluindo a importância da escolha da unidade funcional que retrate o desempenho do material avaliado.

Savietto (2017), apresenta estudo de análise de impactos ambientais da restauração de pavimentos asfálticos pela avaliação do ciclo de vida, concluindo pela recomendação da utilização de reciclado de pavimento asfáltico em misturas asfálticas devido ao ganho ambiental proporcionado por esta estratégia de restauração.

2.7 TÉCNICA ACV E SUAS CARACTERÍSTICAS

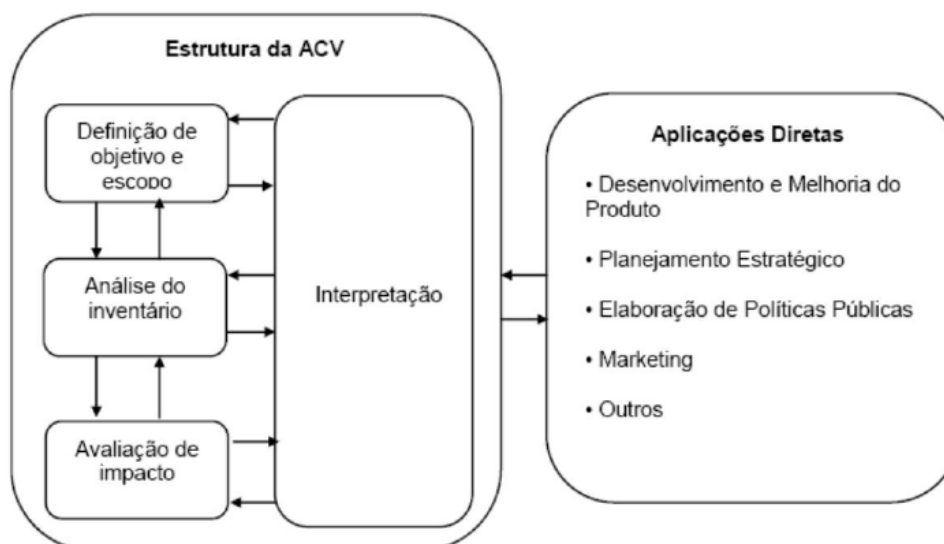
A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica que pode ser usada para analisar e quantificar os impactos ambientais de um produto, sistema ou processo, segundo a FHWA (2016). Esta técnica possibilita uma abordagem ampla para avaliação dos possíveis impactos ambientais que possam ocorrer na fabricação de um produto ou processo, através da análise de todas as entradas e saídas ao longo do ciclo de vida, da produção da matéria-prima até o fim da vida útil. Deste modo, é

possível identificar onde os impactos mais relevantes ocorrem e onde as melhorias mais significativas podem ser feitas.

De acordo com Souza (2017), a ACV é regulamentada internacionalmente pelas normas ISO 14040 (1997) e ISO 14044 (1997), que no Brasil são chamadas NBR ISO 14040 (2001) e NBR ISO 14044 (2001), respectivamente.

A ACV é composta por quatro fases. Segundo Savietto (2017), devem constar a definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação de resultados, conforme Figura 4 que ilustra as fases de uma ACV.

Figura 4 - Fases de uma ACV



Fonte: NBR ISO 14040:2001 (2001).

2.7.1 Definição de objetivo e escopo

Nesta etapa, o objetivo e o escopo devem ser definidos, bem como sua aplicação pretendida, as suas razões e o público-alvo. O escopo deve ser suficientemente bem definido para assegurar que a extensão, a profundidade e o grau de detalhe do estudo sejam compatíveis e suficientes para atender o objetivo estabelecido.

2.7.2 Análise do inventário

A análise do inventário consiste na coleta de dados e cálculos para quantificação das entradas e saídas pertinentes de um sistema de produto. Estes cálculos são constituídos em um balanço de massa e de energia que caracteriza o Inventário de Ciclo de Vida (ICV) (WILLERS; RODRIGUES; SILVA, 2012 *apud* SAVIETTO, 2017). Podem ser feitas interpretações destes dados, os quais são a entrada para avaliação do impacto do ciclo de vida.

2.7.3 Avaliação de impacto

Esta fase é dedicada à avaliação da significância de impactos ambientais potenciais, usando os resultados da análise de inventário do ciclo de vida. O nível de detalhamento, a escolha dos impactos a serem avaliados e as metodologias utilizadas dependem do objetivo e do escopo do estudo.

2.7.4 Interpretação

A etapa de interpretação é a fase da ACV onde as constatações da avaliação de impacto são combinadas com o objetivo de alcançar conclusões e recomendações. Estes resultados da interpretação podem ser utilizados para elaboração de recomendações e conclusões para tomadores de decisão.

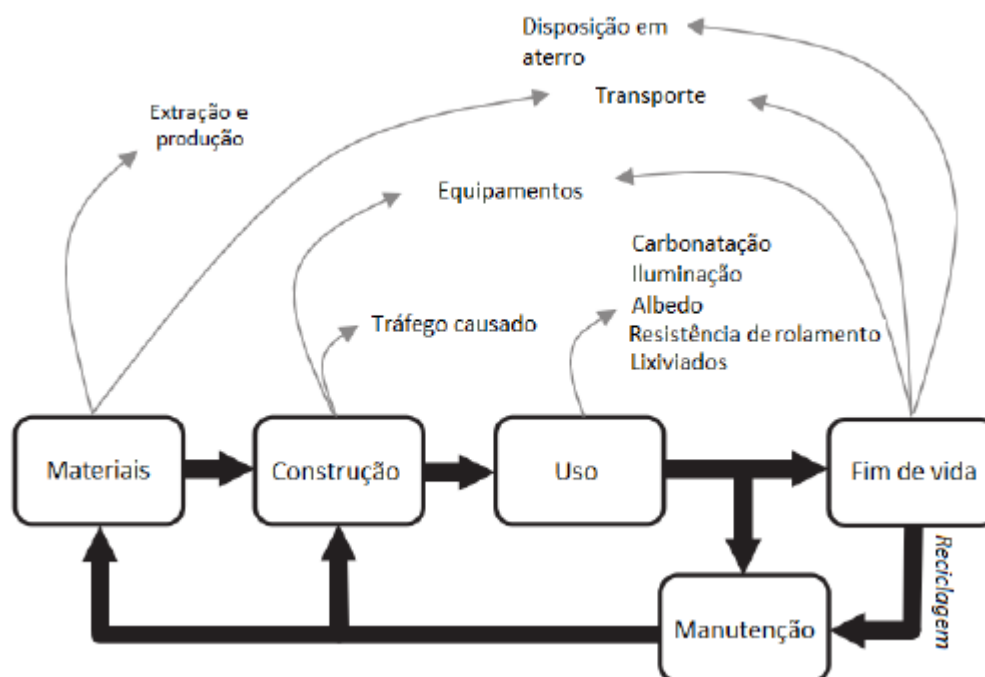
2.8 TÉCNICA ACV E SUAS CARACTERÍSTICAS APLICADA A PAVIMENTO

A conclusão da eficiência do AVC como técnica para avaliação de impactos ambientais na área de infraestrutura de transporte ocorreu através da análise da Environmental Protection Agency (EPA) (SCHENCK, 2000 *apud* SAVIETTO, 2017).

Uma ACV completa de um pavimento deve conter todas as fases de vida desse produto, desde aquisição de matéria prima, processamento do material, uso e fim da vida. A Figura 5 apresenta o ciclo de vida completo de um pavimento, onde são

demonstradas as ações, interações e os impactos ambientais provocados por cada componente do seu ciclo de vida (SANTERO; MASANET; HORVATH, 2011 *apud* SAVIETTO, 2017).

Figura 5 - Ciclo de vida completo de um pavimento



Fonte: Santero, Masanet e Horvath (2011 *apud* SAVIETTO, 2017).

Contudo, em razão das recorrentes dificuldades de um estudo englobar todas as fases de vida de um pavimento é normalmente efetuada uma simplificação no escopo a fim de analisar apenas parte de todo o ciclo de vida do pavimento (SANTERO; MASANET; HORVATH, 2011 *apud* SAVIETTO, 2017).

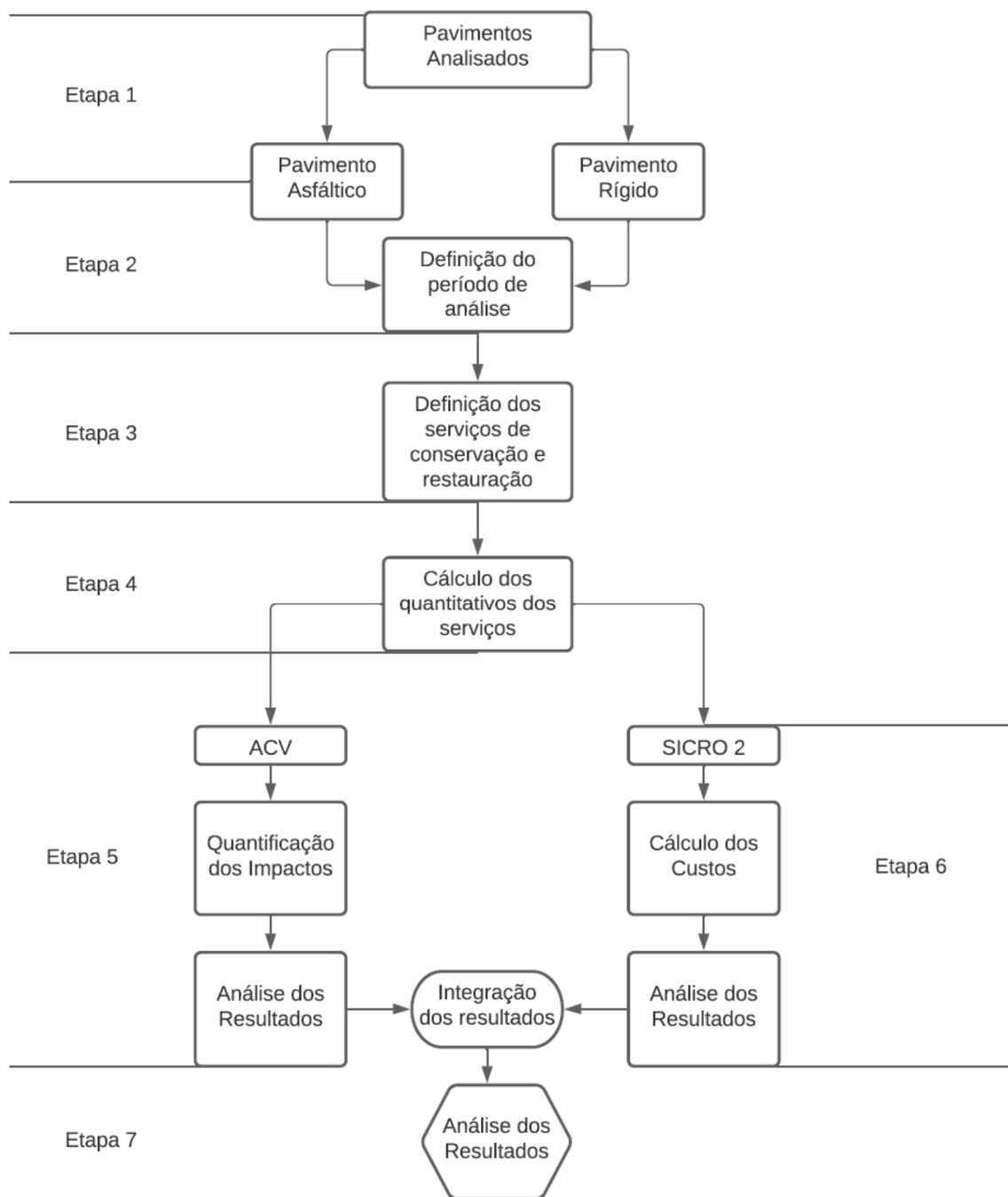
3 METODOLOGIA

A metodologia de desenvolvimento do presente trabalho é dividida em etapas apresentadas no fluxograma da Figura 7. A primeira etapa consiste na escolha dos pavimentos a serem analisados, na etapa seguinte é definido o período de análise a ser considerado nas estruturas dos pavimentos selecionados. Posteriormente são definidos os serviços de conservação e restauração a serem executados nos pavimentos analisados. Após estas etapas são calculados os quantitativos dos serviços correlacionados a construção, conservação e restauração dos pavimentos estudados.

Uma vez definidos os quantitativos dos serviços, à análise se separa em ambiental e econômica. A análise ambiental é efetuada por meio da aplicação da técnica da avaliação do ciclo de vida onde são quantificados os impactos ambientais associados aos pavimentos selecionados, por meio do cálculo dos quantitativos de CO₂ equivalente e energia primária.

Na análise econômica são calculados os custos relativos aos serviços de construção, conservação e restauração dos pavimentos analisados, por meio da utilização do SICRO 2. Na etapa final, com os resultados obtidos de CO₂ equivalente, energia primária e custos foi efetuada uma análise dos resultados para verificação de qual alternativa de pavimento corresponderia ao maior impacto ambiental e qual seria a alternativa de maior custo.

Figura 6 – Fluxograma da metodologia



Fonte: adaptado de Souza (2017).

3.1 ETAPA 1 – PAVIMENTOS ANALISADOS

Nesta etapa foram definidas as estruturas dos pavimentos a serem analisados. Foram consideradas duas alternativas de estrutura, uma em pavimento asfáltico e uma em pavimento rígido, ambas constantes nos projetos de pavimentação da BR-163/364/MT – (Km 278,9 – Km 321,3), aprovados pelo DNIT. A alternativa do pavimento asfáltico foi a proposição inicial constante no projeto, posteriormente foi efetuada uma revisão de projeto onde a estrutura de pavimento rígido foi a nova alternativa proposta e aceita, sendo implementada na obra.

A estrutura do pavimento asfáltico, ilustrada na Figura 7, é composta por uma camada de revestimento em concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) com 5 cm de espessura, sobre uma camada de ligação (CBUQ - binder) subdividida em duas camadas de 4,5 cm cada. A base é constituída por uma camada de brita graduada tratada com cimento de 20 cm. A sub-base é constituída por uma camada de 18 cm de solo estabilizado granulometricamente.

Para a estrutura do pavimento rígido, ilustrada na Figura 8, é composta por uma camada de revestimento em placa de concreto com 23 cm de espessura, sobre uma camada de sub-base em concreto rolado de 10 cm e uma segunda camada de sub-base de 20 cm de solo cimento.

Figura 7 - Estrutura do pavimento asfáltico

Revestimento	CBUQ - 5 cm
	Binder - 4,5 cm
	Binder - 4,5 cm
Base	BGTC - 20 cm
Sub-base	Solo Est. Gra. - 18 cm

Fonte: autor.

Figura 8- Estrutura do pavimento rígido

Revestimento	Concreto - 23 cm
Sub-base (1)	CCR - 10 cm
Sub-base (2)	Solo Cimento - 20 cm

Fonte: autor.

3.2 ETAPA 2 – DEFINIÇÃO DO PERÍODO DE ANÁLISE

Em função do período considerado para o dimensionamento nas estruturas dos pavimentos serem diferentes, pavimento asfáltico 10 anos e o rígido 20 anos, foi

necessário igualar o período de análise em 20 anos para ambas as estruturas, de forma a permitir a comparação de suas vidas de serviço. Para que as estruturas apresentem desempenhos equivalentes, é necessário considerar serviços de conservação e restauração, de diferentes magnitudes para cada estrutura, conforme descrito na etapa 3.

3.3 ETAPA 3 – DEFINIÇÃO DOS SERVIÇOS DE CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO

Nesta etapa foram definidos os serviços relativos à conservação e restauração para ambas estruturas dos pavimentos analisados. Em função da similaridade dos trabalhos e das estruturas analisadas, foram considerados os serviços de conservação e restauração utilizados por Souza (2017).

Para os serviços de conservação periódica do pavimento asfáltico foi prevista sua execução a partir do 2º ano de operação, onde o pavimento ainda apresenta boas condições. Neste ano inicial da conservação, os serviços são mais brandos, no entanto, com seu desgaste natural aumentando ao longo do tempo, se faz necessário uma maior quantitativo de serviços para preservar as condições iniciais do pavimento.

Desta forma, foi prevista até o sexto ano do ciclo de vida do pavimento um acréscimo dos quantitativos dos serviços de conservação do pavimento. A partir do sexto ano o quantitativo de conservação se mantém constante até o fim do período de análise considerado. No Quadro 1 constam os serviços a serem executados e seus quantitativos considerados em porcentagem da área total do pavimento.

Quadro 1 - Soluções Conservação Pavimento Asfáltico

Conservação - Pavimento Asfáltico - (% de área)					
Serviço	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano	A partir do 6º ano
Fresagem	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
Reparo Superficial	0,10	0,20	0,30	0,40	0,05
Reparo Profundo	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10

Fonte: adaptado de Souza (2017).

Para as soluções de restauração do pavimento asfálticas, que são soluções mais pesadas de intervenção em comparação com os serviços de manutenção, foram previstas intervenções a partir do quinto ano do pavimento, que corresponde a metade de seu período de dimensionamento.

Em função da circulação de veículos leve e pesados nas faixas de tráfego, foram previstos serviços com um quantitativo maior nas faixas de tráfego pesado por estarem mais expostas a ação de cargas elevadas, devido principalmente à circulação dos caminhões nesta faixa. Para sua quantificação foi considerada a pista da direita como sendo de tráfego pesado, utilizada principalmente por caminhões e a da esquerda como tráfego leve, utilizada em sua maioria por veículos de passeio.

O microrrevestimento é uma camada executada sobre o pavimento com o objetivo de selar, impermeabilizar ou rejuvenescer o pavimento, foi considerado a execução de uma camada de 1,5 cm sobre a área do pavimento a ser restaurada. A fresagem consiste em se cortar parte das camadas superficiais de um pavimento, se considerou a fresagem de 2,0 cm do pavimento.

A pintura de ligação consiste na aplicação de emulsão asfáltica sobre um revestimento anterior à execução de uma camada betuminosa qualquer, com o objetivo de promover condições de aderência entre as camadas, foi considerada uma taxa de aplicação de 0,4 l/m².

O serviço de recomposição do revestimento com mistura betuminosa a quente, consiste em se executar uma capa de mistura asfáltica na superfície do rolamento, com a finalidade de corrigir defeitos do pavimento e recompor sua seção transversal, se considerou a execução de 3,0 cm de recomposição. O Quadro 2 apresenta as propostas de soluções de restauração consideradas.

Quadro 2 - Soluções Restauração Pavimento Asfáltico

Restauração - Pavimento Asfáltico - (% de área)					
Serviço	Faixa	5º ano	10º ano	15º ano	20º ano
Micro-revestimento	Pesada	50,00	50,00	50,00	50,00
	Leve	10,00	10,00	10,00	10,00
Fresagem	Pesada	50,00	50,00	50,00	50,00
	Leve	10,00	10,00	10,00	10,00
Pintura de ligação	Pesada	60,00	60,00	60,00	60,00
	Leve	60,00	60,00	60,00	60,00
Recomposição CBUQ	Pesada	50,00	50,00	50,00	50,00
	Leve	10,00	10,00	10,00	10,00

Fonte: adaptado de Souza (2017).

Na conservação do pavimento rígido foi considerado o serviço de recomposição de placa de concreto, que consiste em reparar áreas danificadas do pavimento para evitar a propagação do defeito e à penetração de água, para sua quantificação se considerou uma espessura de 3,0 cm na área de execução do serviço. O serviço tem seu início no segundo ano da rodovia, inicialmente com 0,5% da área total crescendo-se 0,5% a cada ano, em função de seu desgaste ao longo do seu ciclo de vida, até o limite de 2,5% da área no sexto ano, mantendo esta porcentagem constante até o vigésimo ano da rodovia.

Quadro 3 - Soluções Conservação Pavimento Rígido

Conservação - Pavimento Rígido - (% de área)					
Serviço	2º ano	3º ano	4º ano	5º ano	A partir do 6º ano
Recomposição de placa	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50

Fonte: Souza (2017), alterada.

Para os serviços de restauração do pavimento rígido foram considerados os serviços de recomposição de placa de concreto com 20% da área total em seu décimo ano, considerando-se uma espessura de 3,0 cm na área de execução do serviço e substituição de placas em 2% da área total em seu décimo quinto e vigésimo ano.

O serviço de substituição de placas consiste na remoção total da placa danificada e execução de uma nova placa de 23,0 cm de espessura, para isso é

utilizado um marteleto rompedor para demolição da placa de concreto com defeito, sendo mantidas as barras de transferência e ligação, o material da demolição é transportado para o bota-fora, por fim se executa a nova placa de concreto.

Quadro 4 - Soluções Restauração Pavimento Rígido

Restauração - Pavimento Rígido - (% de área)			
Serviço	10º ano	15º ano	20º ano
Recomposição de placa	20,00		
Substituição de placa		2,00	2,00

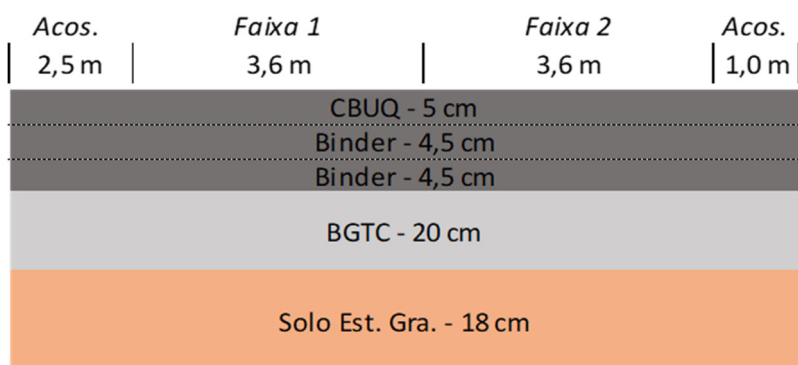
Fonte: adaptado de Souza (2017).

3.4 ETAPA 4 – CÁLCULO DOS QUANTITATIVOS DOS SERVIÇOS

Por meio da geometria de cada tipo de pavimento, suas espessuras de camada, largura de faixas e acostamentos, constantes nos projetos de pavimentação considerados e das porcentagens das áreas consideradas nos serviços de conservação e restauração, foram calculados os quantitativos relativos à construção, conservação e restauração de cada tipo de pavimento.

A geometria da plataforma do pavimento utilizada para o dimensionamento é a mesma para ambos os pavimentos analisados, ocorrendo variação apenas em relação às espessuras das camadas utilizadas em cada alternativa. A figura 9 apresenta as dimensões geométricas utilizadas no cálculo dos quantitativos do pavimento asfáltico.

Figura 9 – Dimensões geométrica do pavimento asfáltico



Fonte: autor.

A geometria da plataforma do pavimento é constituída por duas faixas de 3,6 m, acostamento interno de 1,0 m e acostamento externo de 2,5 m, totalizando uma largura total de 10,7 m. Que multiplicada pela extensão considerada de 1,0 km, resulta na área de 10.700 m², que foi utilizada para os cálculos dos quantitativos dos serviços.

A título demonstrativo a figura 10 apresenta o cálculo do quantitativo relativo ao serviço da base de brita graduada tratada com cimento (BGTC).

Figura 10 – Demonstrativo do cálculo do quantitativo do serviço de BGTC.

PAVIMENTO TIPO A - ASFÁLTICO	Espessura (m)	Volume (m³)	γ (t/m³)	t/km
		área	10.700 m ²	
Base de brita graduada tratada com cimento (BGTC)	0,200	2.140,000	2,4	5.136,00

Fonte: autor.

Pela multiplicação da área de 10.700 m², resultante das dimensões da plataforma e extensão considerada, pela espessura da camada de BGTC de 0,20 m, resulta no volume de 2.140 m³. Que multiplicado pela densidade da BGTC, valor retirado do manual do SICRO, resulta no quantitativo total do serviço de 5.136 t/km. Este é o valor que será utilizado para os cálculos dos quantitativos dos materiais e equipamentos utilizados no serviço. Os cálculos para os demais serviços seguem a mesma lógica e são apresentados nos apêndices A, B, C e D.

3.5 ETAPA 5 – APLICAÇÃO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Nesta etapa foi considerada a estrutura da ACV, constante na Figura 5, em acordo com NBR ISO 14040:2001 (2001). A qual é composta pelas fases de definição do objetivo e escopo, análise do inventário, avaliação de impacto e interpretação.

3.5.1 - Definição de objetivo e escopo

A ACV no presente estudo avalia dois tipos de estruturas de pavimento no prazo de 20 anos, analisando o impacto ambiental gerado pela construção, conservação e restauração da rodovia. O seu escopo é delimitado pelos seguintes parâmetros:

a) Função do sistema

A função do sistema é a construção, manutenção e eventual restauração da pista nova da duplicação da BR-163/364/MT (Km 278,9 – Km 321,3), proporcionando conforto, economia e segurança aos usuários por um período de 20 anos.

b) Unidade funcional

A unidade funcional considerada é de um quilômetro de rodovia em pavimento asfáltico ou rígido para cada caso, com uma largura total da plataforma de rolamento de 10,7 metros, constituída de duas faixas de 3,5 m de largura cada e acostamento interno de 1,0 m e externo de 2,5 m .

c) Sistema

O sistema não representará uma ACV completa, as fases desconsideradas são a do uso do pavimento onde podem ser avaliados, por exemplo a resistência ao rolamento e lixiviados. A outra fase desconsiderada é a fase do fim de vida do pavimento, onde poderiam ser avaliados a sua reciclagem, por exemplo. As fases consideradas são a dos materiais, construção e manutenção, que estão correlacionadas com as atividades de produção dos materiais, transporte de materiais e equipamentos utilizados na construção, conservação e restauração.

d) Requisitos dos dados

Em razão da similaridade entre os trabalhos e as estruturas dos pavimentos analisadas, foram utilizados neste estudo exclusivamente dados secundários constantes na publicação de Souza (2017), referentes a energia primária atribuída a cada material e as emissões de CO₂ equivalente relacionadas aos materiais e equipamentos utilizados, provenientes do banco de dados Ecoinvent® do ano de 2017 e são apresentados no apêndice U.

e) Categoria de impactos ambientais selecionadas

A categoria de impacto selecionada é o potencial de aquecimento global, que é caracterizado pelas emissões de gases de efeito estufa (GEE) e medido em quantidade de gás carbônico equivalente. Para seu cálculo multiplica-se a massa emitida de cada GEE pelo seu potencial de aquecimento global (GWP – *Global Warming Potential*), para o CO₂ o valor do GWP é 1, (HOUGHTON, 2001 *apud* SOUZA,2017).

As emissões GEE inventariadas neste estudo incluem somente o CO₂. Este dado é provido por meio da utilização de banco de dados, no presente estudo os dados utilizados estão descritos no item anterior.

3.5.2 – Análise do inventário do ciclo de vida

Para a quantificação dos impactos ambientais foi utilizada a metodologia de cálculo de Souza (2017), em função da similaridade dos trabalhos e das estruturas analisadas. O método de cálculo consiste em quatro fases que são aplicadas em cada uma das etapas analisadas, produção dos materiais, transporte de materiais e equipamentos utilizados na construção, conservação e restauração.

a) Fase 1 – Consideração dos quantitativos totais dos serviços

Esta fase consiste na consideração dos quantitativos obtidos na Etapa 4, cálculo dos quantitativos dos serviços. O cálculo nesta fase está ilustrado inicialmente na Figura 10, apresentada na Etapa 4.

b) Fase 2 – Cálculo dos quantitativos dos materiais e equipamentos utilizados nos serviços

Por meio das composições dos serviços constantes no SICRO 2 foram obtidos os quantitativos dos materiais, equipamentos e produção relativos aos serviços considerados na Etapa 4. Relacionando o quantitativo de material e equipamento

informado na composição do serviço do SICRO 2 com sua produção do serviço, também informada na mesma composição, foi obtido um fator que multiplicado pelo quantitativo do serviço calculado na Fase 1, resulta no quantitativo unitário total de material e equipamento para o serviço considerado. O quadro 5 ilustra a descrição do cálculo nesta fase.

Quadro 5 – Exemplo do cálculo dos quantitativos dos materiais e equipamentos por serviço

Potência (KW)	Cod. Insumo	Serviço	und	Coef.	Aux.	Tipo A Quant.
Base de brita graduada BC tratada com cimento (BGTC)			Produção	121	m³	5.136,00
	T511	Encarregado de pavimentação	h	0,008264	1,00	42,45
	T701	Servente	h	0,024793	3,00	127,34
82	E102	Rolo compactador tandem vibratório 10,2 t (ξ	h	0,006033	0,73	30,99
98	E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	h	0,006198	0,75	31,83
103	E109	Distribuidor de agregados (103 kW)	h	0,007355	0,89	37,78
210	E404	Caminhão basculante 10 m ³ - 15,0 t (210 kW)	h	0,008264	1,00	42,45
191	E407	Caminhão tanque 10.000 l (210 kW)	h	0,005785	0,70	29,71
	1 A 01 395 51	Usinagem de brita graduada BC	m ³	1,000000	1,00	5.136,00
	1 A 01 395 51	Usinagem de brita graduada BC		2,400000		12.326,40

Fonte: autor.

No Quadro 5 é apresentada a lista de materiais e equipamentos necessários para execução do serviço, no caso a execução da BGTC. Por meio da composição do serviço, obtida no SICRO 2, são obtidos os dados dos quantitativos unitários dos materiais, mão-de-obra e equipamentos para execução do serviço e sua produção.

Para o equipamento distribuidor de agregados, por exemplo, é informada a sua produção horária para execução do serviço de 0,89 que relacionada com a produção do serviço informada 121 m³/h, resulta no fator de 0,007355 (0,89/121), que multiplicado pelo quantitativo total do serviço obtido na fase anterior resulta no quantitativo total de equipamento para execução do serviço de 37,78 h (0,007355 x 5.136).

c) Fase 3 – Resumo dos quantitativos totais dos materiais e equipamentos

Com os resultados obtidos na Fase 2 foi gerado um quadro com os quantitativos totais de cada material e equipamento utilizado na totalidade dos serviços

relacionados a construção, conservação e restauração dos pavimentos avaliados, apresentados na Fase 1. A título demonstrativo o Quadro 8 ilustra esta fase, onde o resultado obtido na fase anterior 37,78 h é computado.

Quadro 6 - Exemplo quantitativos totais dos equipamentos

Cod. Insumo	Serviço	und	Tipo A Quant.	Tipo B Quant.
E109	Distribuidor de agregados (103 kW)	h	38	36
E110	Tanque de estocagem de asfalto 30.000 l	h	80	13
E111	Equipamento distribuidor de asfalto (175 kW)	h	25	6
E112	Aquecedor de fluido térmico (12 kW)	h	48	-

Fonte: autor.

d) Fase 4 – Cálculo dos gastos de energia primária e das emissões de CO₂

A partir dos quantitativos totais obtidos na Fase 3, para as intervenções de construção, conservação e restauração, são efetuados os cálculos dos gastos de energia primária e das emissões de CO₂ equivalente, em cada uma das etapas analisadas: (i) produção dos materiais, (ii) transporte de materiais e (iii) equipamentos utilizados.

Para o cálculo do consumo de energia primária e das emissões de CO₂ equivalente, foram utilizadas as equações constantes na metodologia de Souza (2017), cada etapa tem sua equação correspondente para o cálculo relacionado ao consumo de energia primária e das emissões de CO₂ equivalente e são descritas a seguir.

a) Consumo de energia para a produção das matérias primas

O cálculo do consumo de energia primária para a produção das matérias-primas foi efetuado por meio da multiplicação das quantidades de matérias-primas obtidas, na Fase 3, pela quantidade de energia utilizada para a sua produção, dado obtido conforme subitem d do item 3.5.1, resultando as quantidades de energia primária total consumida para a produção das matérias primas utilizadas.

$$QE_{total} = QE_{unitário} \times Q_{matéria-prima} \quad (1)$$

Onde:

- $QE_{unitário}$ = energia consumida por unidade de matéria-prima produzida
- $Q_{matéria-prima}$ = quantidade total de matéria-prima necessária;
- QE_{total} = energia consumida total para produção da matéria-prima necessária;

b) Consumo de energia para equipamentos e transporte

Para o cálculo dos valores totais de energia por equipamento e transporte foi utilizada a fórmula 2 que por meio da multiplicação da quantidade de energia consumida por hora de equipamento pela quantidade de utilização do equipamento, em horas, dado proveniente da Fase 3, resultando no total de energia primária consumida pelo equipamento. O dado da energia consumida por hora de equipamento é fornecido pelas composições dos serviços constantes no SICRO 2.

$$E_{total} = E_{primária} \times Q_{horas} \times 3,6 \quad (2)$$

Onde:

- E_{total} = energia primária consumida pelo equipamento em MJ;
- $E_{primária}$ = quantidade de energia consumida por hora de equipamento em KW/h;
- Q_{horas} = quantidade de utilização em horas de equipamentos em horas;
- 3,6 = fator de conversão de KW para MJ;

Para a quantificação dos transportes os equipamentos considerados foram o caminhão com caçamba térmica, para o transporte da massa asfáltica, o caminhão betoneira, para o transporte do concreto e o caminhão basculante para os demais transportes.

As distâncias médias de transportes consideradas são apresentadas no Quadro a seguir.

Quadro 7 - Distâncias médias de transporte

Distâncias Médias de Transporte		
Origem	Destino	Km
Jazida	Pista	10,54
Usina	Pista	10,50
Brita	Usina	35,02
Mat. Asflt.	Usina	14,74
Areia	Usina	51,65
Cimento	Usina	16,40
Filler	Usina	16,40
Jazida	Usina	3,88
Pista	Bota-Fora	15,00

Fonte: autor.

Com base nas distâncias de transporte foi calculado o número de horas de trabalho para cada caminhão utilizado na execução dos serviços de construção, conservação e restauração.

O Quadro 8, demonstra a aplicação da equação 2 no cálculo da energia primária relacionada a utilização do distribuidor de agregados no serviço de BGTC.

Quadro 8 – Exemplo de cálculo da energia primária relacionada aos equipamentos

Cod. Insumo	Serviço	Energia	Tipo A	Quant. Energia (MJ)
		(kW/h)	Quant.(h)	Tipo A
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	99	42	14.969
E109	Distribuidor de agregados (103 kW)	103	38	14.090
E111	Equipamento distribuidor de asfalto (175 kW)	175	25	15.750
E112	Aquecedor de fluido térmico (12 kW)	12	48	2.074

Fonte: autor.

Com o dado da energia, fornecido pela composição do serviço constante no SICRO 2, de 103 KW/h, multiplicada pela quantidade de horas calculada na fase 2 de 38 h e pelo fator de conversão de KW para MJ de 3,6, resulta no gasto de energia total do equipamento para o serviço de 14.090 MJ.

c) Emissões de CO₂ equivalente

Para o cálculo das emissões de CO₂ equivalente relacionadas a produção dos materiais em cada uma das etapas analisadas, foi utilizada a fórmula 3, que multiplica o total de emissões para a produção da matéria-prima, dado obtido conforme item 3.5.1.4, pela quantidade total de matéria-prima necessária obtidas na Fase 3, .

$$Q_{GEEtotal} = Q_{matéria-prima} \times Q_{GEEunitário} \quad (3)$$

Onde:

- $Q_{GEEunitário}$ = quantidade de emissões por unidade de matéria-prima produzida;
- $Q_{matéria-prima}$ = quantidade total de matéria-prima necessária;
- $Q_{GEEtotal}$ = total de emissões para a produção da matéria-prima necessária.

As emissões relacionadas a utilização dos equipamentos e transportes foram obtidas pela consideração dos parâmetros de Souza (2017), para o cálculo das emissões de GEE para equipamentos. Sendo utilizado o valor de emissão de GEE de 79 g/MJ para CO₂, considerando-se que os equipamentos utilizam diesel como combustível.

O Quadro 9 apresenta o valor das emissões de CO₂ totais calculadas para o distribuidor de agregados utilizado no serviço de BGTC.

Quadro 9 - Exemplo cálculo das emissões CO₂ totais calculadas para os equipamentos

Cod. Insumo	Serviço	CO2
		Tipo A
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	2.396.923
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	1.182.535
E109	Distribuidor de agregados (103 kW)	1.113.142
E111	Equipamento distribuidor de asfalto (175 kW)	1.244.250
E112	Aquecedor de fluido térmico (12 kW)	163.814

Fonte: autor.

Com os dados obtidos na fase 4 de que a energia gasta pelo distribuidor de agregados é de 14.090 MJ, aplicamos os parâmetros adotados de 79 g/MJ, resultando na emissão total de emissões do equipamento de 1.113.142 g de CO₂ equivalente.

A etapa final da avaliação do ciclo de vida consiste na análise dos resultados obtidos na Fase 4 do cálculo da análise do inventário do ciclo de vida, onde são efetuadas as análises e interpretações dos resultados dos gastos energéticos totais e das emissões totais geradas ao longo das etapas estudadas.

São identificadas quais etapas consomem maior ou menor gasto energético e emissões, qual material ou equipamento é o responsável pelo maior ou menor gasto energético e emissões durante as etapas. E se identifica qual etapa e serviço onde deve ser implementada melhoria para uma diminuição nos impactos ambientais.

Esta metodologia foi aplicada igualmente para os demais serviços de construção, manutenção e restauração. Os resultados são apresentados nos apêndices E,F,G,H,I,J,K,L,M,N,O,P,Q,R,S,T.

3.6 ETAPA 6 – CÁLCULO DOS CUSTOS RELACIONADOS AOS PAVIMENTOS ANALISADOS

Nesta etapa foi utilizado o Sistema de Custos Referências de Obras (SICRO 2) do DNIT para o cálculo dos custos totais de cada alternativa, considerando-se os custos relativos a todas as etapas consideradas, analisando-se os resultados obtidos.

Os custos totais dos serviços são obtidos pela multiplicação do seu quantitativo total pelo seu custo unitário, este custo é obtido por meio das composições de serviço constantes no SICRO 2, que acrescidos do percentual de bonificação por despesas indiretas (BDI) resulta no preço por unidade do serviço (DNIT, 2003).

O Quadro 10 apresenta a composição do serviço de BGTC, utilizada no presente estudo.

Quadro 10 – Composição de preço do serviço BGTC de acordo com o SICRO 2

SERVIÇO : Base de brita graduada tratada com cimento (BGTC)					Código PCU : 2 S 02 230 50		UNIDADE : R\$/m³	
EQUIPAMENTO								
Código	Descrição	Quant.	Utilização		Custo Operativo		Custo Horário	
			Operativo	Improd.	Operativo	Improd.		
E102	Rolo compactador tandem vibratório 10,2 t (82 kW)	1,00	0,73	0,27	112,0719	17,2749	86,4767	
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	1,00	0,75	0,25	111,0989	17,2749	87,6429	
E109	Distribuidor de agregados (103 kW)	1,00	0,89	0,11	132,7909	22,3934	120,6472	
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	3,56	1,00	0,00	129,0028	20,4740	459,2500	
E407	Caminhão tanque 10.000 l (210 kW)	1,00	0,70	0,30	126,8721	20,4740	94,9527	
TOTAL (A)							848,9695	
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR					Padrão Salarial	Quant.	Salário Base	Custo Horário
T511	Encarregado de pavimentação			1,00		44,7868	44,7868	
T701	Servente			3,00		7,3578	22,0734	
	EPIs, Transporte e Alimentação (15,51 % s/MDO)						10,3700	
TOTAL (B)							77,2302	
PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)			121,0	CUSTO HORÁRIO TOT. (A+B)			926,1997	
CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO			[(A)+(B)]/(C) = (D)				7,6545	
MATERIAIS					Unidade	Custo	Consumo	Custo Unitário
1 A 01 395 51	Usinagem de brita graduada BC			m³	130,3565		1,0000	130,3565
TOTAL (E)							130,3565	
TRANSPORTE (T.Km)			DMT (Terra)	DMT (Pavim.)	DMT (Total)	Custo	Consumo	Custo Unitário
TR020	Brita graduada (Usina - Pista)			10,50	10,50		2,4000	25,2000
TOTAL (F)							25,2000	
CUSTO DIRETO TOTAL : (D) + (E) + (F)							163,2110	
Bonificação :26,7 %							43,5773	
CUSTO UNITÁRIO TOTAL :							206,8000	

Fonte: adaptado de DNIT (2013).

As composições de serviço do SICRO 2 são constituídas de quatro partes onde são calculados os custos dos equipamentos, mão-de-obra, materiais e transporte. Nela é informada a produção da equipe mecânica empregada para a execução do serviço, que está diretamente relacionado com os custos totais dos equipamentos e mão-de-obra. O somatório de cada um dos custos referentes a cada parte resulta no custo unitário total do serviço, que multiplicado pelo BDI resulta no preço unitário do serviço.

A adoção do SICRO 2, em detrimento ao novo SICRO implementado em 25 de abril de 2017, como sistema de análise de custo se deve ao fato de ser o sistema oficial, à época, da elaboração dos projetos e da sua utilização na obra da rodovia estudada. A data-base para os valores considerados foi a de novembro 2012, em razão de ser esta a utilizada na obra analisada.

3.7 ETAPA 7 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

Através dos resultados obtidos nas Etapas 5 e 6 foi efetuada uma integração dos resultados, possibilitando uma análise comparativa entre as alternativas dos pavimentos analisados em relação aos seus custos, emissões de CO₂ equivalente e energia primária consumida nas etapas analisadas de construção, conservação e restauração.

4 RESULTADOS

Os resultados do presente trabalho são apresentados em duas partes, a primeira são os resultados obtidos na análise de inventário de ciclo de vida, que utilizou a metodologia de (Souza,2017), por este motivo esta parte da apresentação dos resultados obtidos se limita a comparação com (Souza, 2017).

Para a segunda parte onde são apresentados os resultados da ACV, estes são comparados com à pesquisa bibliográfica além dos resultados obtidos por (Souza, 2017).

4.1 ANÁLISE DE INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA

Para cada estrutura do pavimento proposta foi calculada a quantidade de material em função dos serviços necessários para construção, conservação e restauração do pavimento ao longo do período estabelecido, nos Quadros 11 e 12 são apresentadas as quantidades relativas aos serviços de construção dos pavimentos. O pavimento asfáltico foi denominado Tipo A e o pavimento rígido Tipo B.

Quadro 11 – Quantitativos para construção pavimento asfáltico

PAVIMENTO TIPO A - ASFÁLTICO		
DISCRIMINAÇÃO	UN.	QUANT.
Regularização do subleito	m ²	10.700
Sub-base solo estabilizado granul. s/ mistura	m ³	1.926
Base de brita graduada tratada com cimento (BGTC)	m ³	2.140
Conc. betuminoso usinado a quente - capa rolamento AC/BC	t	1.284
Concreto betuminoso usinado a quente - "binder" AC/BC	t	2.311
Imprimação	m ²	21.400
Pintura de ligação	m ²	10.700

Fonte: autor.

Quadro 12 – Quantitativos para construção pavimento rígido

PAVIMENTO TIPO B - RÍGIDO		
DISCRIMINAÇÃO	UN.	QUANT.
Regularização do subleito	m ²	10.700
Pintura de ligação	m ²	10.700
Base de solo cimento c/ mistura em usina	m ³	2.140
Base de concreto rolado AC/BC	m ³	1.070
Concreto de cimento portland com fôrma deslizante AC/BC	m ³	2.461

Fonte: autor.

Os quantitativos dos serviços de conservação e restauração ao longo dos 20 anos são apresentados nos quadros 13 e 14.

Quadro 13 - Quantitativos conservação e restauração pavimento asfáltico

PAVIMENTO TIPO A - ASFÁLTICO (CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO) - (20 ANOS)		
DISCRIMINAÇÃO	UN.	QUANT.
Base de brita graduada BC	m ³	34
Conc. betuminoso usinado a quente - capa rolamento AC/BC	t	967
Concreto betuminoso usinado a quente - "binder" AC/BC	t	76
Imprimação	m ²	26.386
Pintura de ligação	m ²	13.193
Fresagem contínua do revest. betuminoso	m ³	342
Micro-revestimento a frio - Microflex 1,5 cm BC	m ²	12.840

Fonte: autor.

Quadro 14 - Quantitativos conservação e restauração pavimento rígido

PAVIMENTO TIPO B - RÍGIDO (CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO) - (20 ANOS)		
DISCRIMINAÇÃO	UN.	QUANT.
Recomposição de placa de concreto AC/BC	m ³	193
Concreto de cimento portland com fôrma deslizante AC/BC	m ³	98

Fonte: autor.

Através destes quantitativos obtidos e com o conhecimento do peso específico dos materiais forma obtidas as suas quantidades em toneladas (t) de material para cada tipo de pavimento analisado.

4.1.1 Produção de materiais

Com a computação de todas as quantidades de serviços para cada tipo de pavimento, foram obtidas as quantidades de matérias-primas necessárias para os serviços de construção, conservação e restauração de cada tipo de pavimento. As quantidades de matérias-primas para a construção são apresentadas no Quadro 15 e para conservação e restauração no Quadro 16.

Quadro 15 - Quantitativos matérias-primas construção

Quantitativos matérias-primas Construção		
Serviço	Quant. Material (t)	
	Tipo A	Tipo B
Aço ø = 4,2 mm CA 25	-	7
Aço ø = 6,3 mm CA 25	-	7
Aço ø = 10,0 mm CA 25	-	7
Aço ø = 6,3 mm CA 50	-	1
Aço ø = 10,0 mm CA 50	-	1
Brita 1	7.265	6.264
Brita 2	7.265	6.264
Brita 3	7.267	6.266
Óleo combustível 1 A	25	-
Cimento asfáltico CAP 50/70	384	-
Asfalto diluído CM-30	51	-
Emulsão asfáltica RR-1C	9	9
Cimento portland CP II-32 (a granel)	-	2.338
Cimento portland CP II-32	452	1.124
Areia lavada	662	5.565
Filler	36	-
Baguete limitador de polietileno	-	25
Selante asfáltico polimerizado	-	6

Fonte: autor.

Os materiais com maiores incidências, na fase de construção, em ambos os pavimentos analisados são os materiais pétreos, com destaque para o quantitativo de brita. Isso se deve às soluções propostas demandarem a utilização deste material, no pavimento asfáltico com a execução da BGTC incrementa significativamente a demanda pela brita. Para o pavimento rígido a produção do concreto para utilização no revestimento do pavimento demanda a utilização significativa deste material.

No pavimento rígido, Tipo B, ocorre um grande consumo de areia em comparação ao pavimento asfáltico, Tipo A, em razão da execução do concreto em sua solução, outra consequência da utilização do concreto na solução do pavimento rígido é um consumo elevado de cimento.

Os resultados obtidos apresentam similaridade aos obtidos por (Souza 2017), em seu trabalho faz uma comparação entre três tipos de estruturas, asfáltico, asfáltica e rígida. Considerando apenas os resultados dos pavimentos asfálticos e rígidos, que têm semelhança com as estruturas do presente estudo, verifica-se que os materiais

pétreos, brita e areia, são os materiais de maior incidência, bem como o consumo mais elevado de areia no pavimento rígido, por ser um dos insumos na fabricação do concreto utilizado no revestimento do pavimento.

Quadro 16 - Quantitativos matérias-primas conservação e restauração

Quantitativos matérias-primas Conservação + Restauração		
Serviço	Quant. Material (t)	
	Tipo A	Tipo B
Aço ø = 4,2 mm CA 25	-	0,28
Aço ø = 6,3 mm CA 25	-	0,28
Aço ø = 10,0 mm CA 25	-	0,28
Aço ø = 6,3 mm CA 50	-	0,02
Aço ø = 10,0 mm CA 50	-	0,02
Brita 1	1.243	204
Brita 2	1.243	204
Brita 3	1.243	204
Óleo combustível 1 A	7	-
Cimento asfáltico CAP 50/70	114	-
Asfalto diluído CM-30	63	-
Emulsão asfáltica RR-1C	11	9
Cimento portland CP II-32 (a granel)	-	94
Cimento portland CP II-32	7	36
Areia lavada	240	300
Filler	27	-
Baguete limitador de polietileno	-	1
Selante asfáltico polimerizado	-	0

Fonte: autor.

Na etapa de conservação e restauração os materiais pétreos continuam a ter uma maior incidência em comparação ao demais, em ambos pavimentos analisados. Entretanto, no pavimento asfáltico há um consumo muito superior de brita em comparação ao pavimento rígido.

Este maior consumo se dá em razão do pavimento asfáltico necessitar um número maior de intervenções ao longo do período de análise que o pavimento rígido, necessitando desta forma de uma maior quantidade de concreto asfáltico que demanda o consumo de brita.

Os resultados estão de acordo com os obtidos por (Souza, 2017), com uma maior incidência dos materiais pétreos e um consumo maior de brita no pavimento asfáltico em relação ao pavimento rígido.

Quadro 17 - Quantitativos de energia construção

Quantitativos Energia Construção					
Serviço	Quant.	Quant. Energia (MJ)			
	Energia (MJ/t)	Tipo A	%	Tipo B	%
Aço ø = 4,2 mm CA 25	25.310	-		174.664	
Aço ø = 6,3 mm CA 25	25.310	-		174.664	
Aço ø = 10,0 mm CA 25	25.310	-		174.715	
Aço ø = 6,3 mm CA 50	25.310	-		14.427	
Aço ø = 10,0 mm CA 50	25.310	-		14.427	
Brita 1	96	697.421	1,07%	601.344	1,88%
Brita 2	96	697.421	1,07%	601.344	1,88%
Brita 3	96	697.651	1,07%	601.574	1,88%
Óleo combustível 1 A	0,1	2	0,00%	-	
Cimento asfáltico CAP 50/70	682	261.888	0,40%	-	
Asfalto diluído CM-30	1.003.878	51.197.778	78,56%	-	
Emulsão asfáltica RR-1C	1.003.878	9.034.902	13,86%	9.034.902	28,20%
Cimento portland CP II-32 (a granel)	5.161	-	0,00%	12.066.160	37,66%
Cimento portland CP II-32	5.161	2.332.607	3,58%	5.800.644	18,11%
Areia lavada	96	63.504	0,10%	534.240	1,67%
Filler	5.161	185.734	0,29%	-	
Baguete limitador de polietileno	91.550	-		2.243.426	7,00%
Selante asfáltico polimerizado	50	-		309	0,00%
TOTAIS		65.168.908	100%	32.036.840	100%

Fonte: autor.

Com os resultados dos gastos energéticos dos materiais empregados na fase da construção, apresentados no Quadro 17, verifica-se que o pavimento asfáltico responde pelo maior gasto de energia nesta etapa em decorrência da utilização do asfalto diluído e da emulsão asfáltica. Este gasto elevado decorre possivelmente por serem materiais que demandam um alto gasto energético desde à produção até sua aplicação. Os resultados obtidos são similares aos de (Souza,2017) que obteve um maior gasto energético do pavimento asfáltico em comparação ao pavimento rígido em decorrência da imprimação e pintura de ligação.

Quadro 18 - Quantitativos de energia conservação e restauração

Quantitativos Energia Conservação + Restauração			
Serviço	Quant.	Quant. Energia (MJ)	
	Energia (MJ/t)	Tipo A	Tipo B
Aço ø = 4,2 mm CA 25	25.310	-	6.986
Aço ø = 6,3 mm CA 25	25.310	-	6.986
Aço ø = 10,0 mm CA 25	25.310	-	6.986
Aço ø = 6,3 mm CA 50	25.310	-	582
Aço ø = 10,0 mm CA 50	25.310	-	582
Brita 1	96	119.347	19.584
Brita 2	96	119.347	19.584
Brita 3	96	119.347	19.584
Óleo combustível 1 A	0	1	-
Cimento asfáltico CAP 50/70	682	77.748	-
Asfalto diluído CM-30	1.003.878	63.244.314	-
Emulsão asfáltica RR-1C	1.003.878	11.042.658	9.034.902
Cimento portland CP II-32 (a granel)	5.161	-	482.646
Cimento portland CP II-32	5.161	37.319	183.427
Areia lavada	96	23.040	28.800
Filler	5.161	139.858	-
Baguete limitador de polietileno	91.550	-	89.693
Selante asfáltico polimerizado	50	-	12

Fonte: autor.

O gasto energético relativo aos materiais utilizados nos serviços de conservação e restauração, apresentados no Quadro 18, resultaram em um maior gasto relativo aos materiais utilizados no pavimento asfáltico e razão da utilização do asfalto diluído e emulsão asfáltica utilizados nos serviços de imprimação e pintura de ligação. Estes resultados são corroborados por (Souza, 2017) que obteve um maior gasto energético relativo aos materiais utilizados no pavimento asfáltico em relação ao pavimento rígido.

Quadro 19 - Quantitativos de emissões construção

Serviço	CO2 (t)	
	Tipo A	Tipo B
Aço ø = 4,2 mm CA 25	-	15
Aço ø = 6,3 mm CA 25	-	15
Aço ø = 10,0 mm CA 25	-	15
Aço ø = 6,3 mm CA 50	-	1
Aço ø = 10,0 mm CA 50	-	1
Brita 1	11	9
Brita 2	11	9
Brita 3	11	9
Óleo combustível 1 A	-	-
Cimento asfáltico CAP 50/70	13	-
Asfalto diluído CM-30	9	-
Emulsão asfáltica RR-1C	3	3
Cimento portland CP II-32 (a granel)	-	1.883
Cimento portland CP II-32	364	905
Areia lavada	1	8
Filler	29	-
Baguete limitador de polietileno	-	27
Selante asfáltico polimerizado	-	1
TOTAL	452	2.901

Fonte: autor.

Em relação as emissões dos materiais utilizados da etapa da construção, apresentadas no Quadro 19, os materiais utilizados no pavimento rígido geram uma maior quantidade de emissões que os materiais utilizados no pavimento asfáltico. Isso se deve principalmente pelas emissões geradas na produção do cimento, que responde por mais de 95% das emissões de CO₂ nos materiais utilizados no pavimento rígido.

Nos pavimentos similares analisados por (Souza,2017), se verificou uma maior emissão nos materiais utilizados no pavimento rígido em comparação ao pavimento asfáltico, sendo o cimento o principal material responsável pelo maior quantitativo de emissões de CO₂ geradas.

Quadro 20 - Quantitativos de emissões conservação e restauração

Serviço (CONS. + REST.)	CO2 (t)	
	Tipo A	Tipo B
Aço ø = 4,2 mm CA 25	-	1
Aço ø = 6,3 mm CA 25	-	1
Aço ø = 10,0 mm CA 25	-	1
Aço ø = 6,3 mm CA 50	-	-
Aço ø = 10,0 mm CA 50	-	-
Brita 1	2	-
Brita 2	2	-
Brita 3	2	-
Óleo combustível 1 A	-	-
Cimento asfáltico CAP 50/70	4	-
Asfalto diluído CM-30	11	-
Emulsão asfáltica RR-1C	3	3
Cimento portland CP II-32 (a granel)	-	75
Cimento portland CP II-32	6	29
Areia lavada	-	-
Filler	22	-
Baguete limitador de polietileno	-	1
Selante asfáltico polimerizado	-	-
TOTAL	52	111

Fonte: autor.

Na etapa de conservação e restauração, com seu resultado apresentados no Quadro 20, verifica-se a incidência das maiores emissões relativa aos materiais utilizados no pavimento rígido, sendo o cimento o principal responsável por este resultado. Nota-se que nestas etapas embora o pavimento asfáltico necessite um número maior de intervenções, isto não corresponde a uma maior emissão de CO₂ quanto aos materiais utilizados. O mesmo resultado foi observado por (Souza,2017), com uma maior emissão para o pavimento rígido em comparação ao pavimento asfáltico.

4.1.2 Equipamentos construção, conservação e restauração

Em função dos dados dos quantitativos obtidos foi possível calcular as quantidades de horas de equipamentos a serem utilizados para cada tipo de pavimento. Na sequência são apresentadas as tabelas com as respectivas quantidades horárias dos equipamentos.

Quadro 21 - Quantitativos de energia equipamentos construção

Serviço	Tipo A	Tipo B	Quant. Energia (MJ)	
	Quant.(h)	Quant.(h)	Tipo A	Tipo B
Trator de esteiras c/lâmina (108 kW)	47	50	18.274	19.440
Motoniveladora (103 kW)	54	34	20.023	12.607
Trator agrícola (74 kW)	45	13	11.988	3.463
Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	79	95	41.807	50.274
Rolo compactador pé-de-carneiro 11,25 t (82 kW)	40	13	11.808	3.838
Rolo compactador tanden vibratório 10,2 t (82 kW)	58	41	17.122	12.103
Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	86	50	30.341	17.640
Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	42	41	14.969	14.612
Distribuidor de agregados (103 kW)	38	36	14.090	13.349
Equipamento distribuidor de asfalto (175 kW)	25	6	15.750	3.780
Aquecedor de fluido térmico (12 kW)	48	-	2.074	-
Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	-	40	-	58.032
Usina de asfalto a quente 90/120 t/h (188 kW)	48	-	32.486	-
Vibro-acabadora de asfalto (74 kW)	39	-	10.390	-
Fresadora e distribuidora de solo (243 kW)	-	5	-	1.854
Compressor de ar 200 PCM (56 kW)	-	14	-	7.409
Espalhadora de concreto (172 kW)	-	41	-	25.387
Acabadora de concreto forma deslizante (172 kW)	-	41	-	25.387
Texturizadora e lançadora (57 kW)	-	41	-	8.413
Serra de disco para concreto (26 kW)	-	83	-	7.769
Seladora de juntas (6 kW)	-	14	-	7.510
Central de concreto 180 m³/h (149 kW)	-	56	-	30.038
Caminhão carroceria - caminhão c/caçamba térmica (130 kW)	-	-	-	-
Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	-	-	-	-
Caminhão tanque 10.000 l (210 kW)	57	37	39.193	25.441
Caminhão tanque 8.000 l (150 kW)	-	48	-	25.920
Caminhão betoneira 5 m³ - 11,5 t (154 kW)	-	-	-	-
Grupo gerador 36/40 kVA (32 kW)	48	-	5.530	-
Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	90	41	46.656	21.254
Grupo gerador 288 kVA (230 kW)	-	56	-	46.368
TOTAIS			3,32E+05	4,42E+05

Fonte: autor.

Em relação ao gasto energético dos equipamentos, apresentados no Quadro 21, utilizados na etapa de construção, observa-se um maior gasto nos equipamentos utilizados na execução do pavimento rígido, destacando-se a estabilizadora/recicladora a frio utilizada nos serviços de execução da sub-base, o gerador utilizado nos serviços de usinagem das sub-bases e a central de concreto utilizada para produção do concreto utilizado no revestimento do pavimento rígido.

Quadro 22 - Quantitativos de energia equipamentos conservação e restauração

Cod. Insumo	Serviço (CONS. + REST.)	Tipo A	Tipo B	Quant. Energia (MJ)	
		Quant.(h)	Quant.(h)	Tipo A	Tipo B
E002	Trator de esteiras c/lâmina (108 kW)	-	-	-	-
E006	Motoniveladora (103 kW)	-	-	-	-
E007	Trator agrícola (74 kW)	23	6	6.127	1.598
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	4	1	2.117	529
E013	Rolo compactador pé-de-carneiro 11,25 t (82 kW)	-	-	-	-
E102	Rolo compactador tandem vibratório 10,2 t (82 kW)	8	-	2.362	-
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	18	-	6.350	-
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	1	-	356	-
E109	Distribuidor de agregados (103 kW)	1	-	371	-
E111	Equipamento distribuidor de asfalto (175 kW)	31	6	19.530	3.780
E112	Aquecedor de fluido térmico (12 kW)	14	-	605	-
E138	Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	-	-	-	-
E147	Usina de asfalto a quente 90/120 t/h (188 kW)	14	-	9.475	-
E149	Vibro-acabadora de asfalto (74 kW)	11	-	2.930	-
E160	Fresadora e distribuidora de solo (243 kW)	-	-	-	-
E208	Compressor de ar 200 PCM (56 kW)	-	62	-	32.810
E330	Espalhadora de concreto (172 kW)	-	2	-	1.238
E331	Acabadora de concreto forma deslizante (172 kW)	-	2	-	1.238
E332	Texturizadora e lançadora (57 kW)	-	2	-	410
E333	Serra de disco para concreto (26 kW)	-	3	-	281
E334	Seladora de juntas (6 kW)	-	1	-	536
E335	Central de concreto 180 m³/h (149 kW)	-	2	-	1.073
E401	Caminhão carroceria - caminhão c/caçamba térmica (130 kW)	-	-	-	-
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	-	-	-	-
E407	Caminhão tanque 10.000 l (210 kW)	-	-	-	-
E422	Caminhão tanque 8.000 l (150 kW)	-	2	-	1.080
E427	Caminhão betoneira 5 m³ - 11,5 t (154 kW)	-	-	-	-
E501	Grupo gerador 36/40 kVA (32 kW)	14	-	1.613	-
E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	15	-	7.776	-
E016	Carregadeira de pneus 1,72 m³ (113 kW)	2	-	814	-
E127	Fresadora a frio (340 kW)	72	-	88.128	-
E156	Carregadeira de pneus c/vassoura 1,52 m (45 kW)	36	-	5.832	-
E161	Equipamento distribuidor de lama asfáltica (336 kW)	21	-	25.402	-
E306	Vibrador de concreto - imersão (2 kW)	-	31	-	223
E400	Caminhão basculante 5 m³ - 8,8 t (136 kW)	-	103	-	50.429
E406	Caminhão tanque 6.000 l (136 kW)	24	-	11.750	-
E409	Caminhão carroceria fixa 9 t (136 kW)	6	-	2.938	-
E504	Grupo gerador 288 kVA (230 kW)	-	2	-	1.656
		TOTAIS		1,94,E+05	9,69,E+04

Fonte: autor.

Na etapa de conservação e restauração se observa nos resultados apresentados no Quadro 22 que são os equipamentos utilizados no pavimento asfáltico os responsáveis pelo maior gasto energético, com a fresadora a frio, utilizada no serviço de fresagem apresentando o maior gasto energético entre os equipamentos utilizados. Este maior gasto energético para os equipamentos utilizados nos serviços do pavimento asfáltico possivelmente se deve ao fato deste pavimento necessitar um número de intervenções maiores que o pavimento rígido.

Quadro 23 - Quantitativos de emissões equipamentos construção

Serviço	CO2 (t)	
	Tipo A	Tipo B
Trator de esteiras c/lâmina (108 kW)	1	2
Motoniveladora (103 kW)	2	1
Trator agrícola (74 kW)	1	-
Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	3	4
Rolo compactador pé-de-carneiro 11,25 t (82 kW)	1	-
Rolo compactador tandem vibratório 10,2 t (82 kW)	1	1
Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	2	1
Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	1	1
Distribuidor de agregados (103 kW)	1	1
Equipamento distribuidor de asfalto (175 kW)	1	-
Aquecedor de fluido térmico (12 kW)	-	-
Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	-	5
Usina de asfalto a quente 90/120 t/h (188 kW)	3	-
Vibro-acabadora de asfalto (74 kW)	1	-
Fresadora e distribuidora de solo (243 kW)	-	-
Compressor de ar 200 PCM (56 kW)	-	1
Espalhadora de concreto (172 kW)	-	2
Acabadora de concreto forma deslizante (172 kW)	-	2
Texturizadora e lançadora (57 kW)	-	1
Serra de disco para concreto (26 kW)	-	1
Seladora de juntas (6 kW)	-	1
Central de concreto 180 m³/h (149 kW)	-	2
Caminhão carroceria - caminhão c/caçamba térmica (130 kW)	-	-
Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	-	-
Caminhão tanque 10.000 l (210 kW)	3	2
Caminhão tanque 8.000 l (150 kW)	-	2
Caminhão betoneira 5 m³ - 11,5 t (154 kW)	-	-
Grupo gerador 36/40 kVA (32 kW)	-	-
Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	4	2
Grupo gerador 288 kVA (230 kW)	-	4
	25	36

Fonte: autor.

Quanto às emissões geradas pelos equipamentos utilizados na fase de construção apresentadas no Quadro 23, observa-se que os equipamentos dos serviços relacionados ao pavimento rígido respondem pela maior quantidade de emissões geradas. Tendo como principais equipamentos responsáveis os mesmo que respondem pelo maior gasto energético a estabilizadora/recicladora a frio e o gerador 288 kVA.

Nota-se que ao contrário dos materiais onde os que correspondem aos maiores gasto energético não correspondem aos materiais de maiores emissões, na fase de construção. Para os equipamentos utilizados nesta fase existe uma correspondência entre os equipamentos de maiores gastos energéticos e de maiores emissões.

Quadro 24 - Quantitativos de emissões equipamentos conservação e restauração

Serviço (CONS. + REST.)	CO2 (t)	
	Tipo A	Tipo B
Trator de esteiras c/lâmina (108 kW)	-	-
Motoniveladora (103 kW)	-	-
Trator agrícola (74 kW)	-	-
Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	-	-
Rolo compactador pé-de-carneiro 11,25 t (82 kW)	-	-
Rolo compactador tandem vibratório 10,2 t (82 kW)	-	-
Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	1	-
Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	-	-
Distribuidor de agregados (103 kW)	-	-
Equipamento distribuidor de asfalto (175 kW)	2	-
Aquecedor de fluido térmico (12 kW)	-	-
Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	-	-
Usina de asfalto a quente 90/120 t/h (188 kW)	1	-
Vibro-acabadora de asfalto (74 kW)	-	-
Fresadora e distribuidora de solo (243 kW)	-	-
Compressor de ar 200 PCM (56 kW)	-	3
Espalhadora de concreto (172 kW)	-	-
Acabadora de concreto forma deslizante (172 kW)	-	-
Texturizadora e lançadora (57 kW)	-	-
Serra de disco para concreto (26 kW)	-	-
Seladora de juntas (6 kW)	-	-
Central de concreto 180 m³/h (149 kW)	-	-
Caminhão carroceria - caminhão c/caçamba térmica (130 kW)	-	-
Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	-	-
Caminhão tanque 10.000 l (210 kW)	-	-
Caminhão tanque 8.000 l (150 kW)	-	-
Caminhão betoneira 5 m³ - 11,5 t (154 kW)	-	-
Grupo gerador 36/40 kVA (32 kW)	-	-
Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	1	-
Carregadeira de pneus 1,72 m³ (113 kW)	-	-
Fresadora a frio (340 kW)	7	-
Carregadeira de pneus c/vassoura 1,52 m (45 kW)	-	-
Equipamento distribuidor de lama asfáltica (336 kW)	2	-
Vibrador de concreto - imersão (2 kW)	-	-
Caminhão basculante 5 m³ - 8,8 t (136 kW)	-	4
Caminhão tanque 6.000 l (136 kW)	1	-
Caminhão carroceria fixa 9 t (136 kW)	-	-
Grupo gerador 288 kVA (230 kW)	-	-
	15	8

Fonte: autor.

Para etapa de conservação e restauração o resultado das emissões geradas pelos equipamentos, apresentado no Quadro 24, guarda relação com os resultados obtidos para esta fase relativo ao gasto energético dos equipamentos utilizados. Resultando na maior emissão para os equipamentos utilizados nos serviços da pavimentação asfáltica, tendo com destaque as emissões da fresadora, que corresponde também ao equipamento de maior gasto energético.

4.1.3 Transportes

Em relação ao gasto energético relativo ao transporte dos materiais na etapa da construção, apresentado no Quadro 25, verificou-se um maior gasto energético no transporte dos materiais para execução dos serviços do pavimento rígido, sendo o caminhão basculante 10 m³ o equipamento com o maior gasto.

Este resultado se deve principalmente ao transporte da areia para produção do concreto, que já apresentou um destaque quanto ao seu quantitativo elevado, outro fator que contribui para este resultado é o fato da areia ser o insumo com a maior distância de transporte.

Quadro 25 – Quantitativo de energia do transporte na construção

Serviço	Tipo A	Tipo B	Quant. Energia (MJ)	
	Quant.(h)	Quant.(h)	Tipo A	Tipo B
Caminhão carroceria - caminhão c/caçamba térmica (130 kW)	397	-	185.796	-
Caminhão basculante 10 m ³ - 15,0 t (210 kW)	1.497	3.536	1.131.732	2.673.216
Caminhão betoneira 5 m ³ - 11,5 t (154 kW)	-	1.498	-	830.491
TOTAIS			1.317.528	3.503.707

Fonte: autor.

Na etapa de conservação e restauração, verifica-se no Quadro 26 que os transportes dos materiais relacionados ao pavimento asfáltico apresentam um maior gasto energético, com o caminhão basculante 10 m³ se destacando entre os equipamentos. Isto ocorre em razão da utilização deste equipamento para o transporte da brita utilizada no concreto asfáltico.

O quantitativo deste material se destaca nesta etapa igualmente, o que pode explicar o maior gasto de energia nesta etapa, associada com a distância média de

transporte do material. A necessidade do maior quantitativo deste material nesta etapa está ligado ao fato deste tipo de pavimento necessitar um maior número de intervenções em relação ao pavimento rígido.

Quadro 26 - Quantitativo de energia do transporte na conservação e restauração

Serviço (CONS. + REST.)	Tipo A	Tipo B	Quant. Energia (MJ)	
	Quant.(h)	Quant.(h)	Tipo A	Tipo B
Caminhão carroceria - caminhão c/caçamba térmica (130 kW)	118	-	55.224	-
Caminhão basculante 10 m ³ - 15,0 t (210 kW)	267	127	201.852	96.012
Caminhão betoneira 5 m ³ - 11,5 t (154 kW)	-	36	-	19.958
TOTAIS			257.076	115.970

Fonte: autor.

No cálculo das emissões de GEE para equipamentos foi utilizada a mesma metodologia utilizada para os equipamentos de construção, conservação e restauração. O quadro 27 apresenta os resultados obtidos.

Quadro 27 – Quantitativo das emissões no transporte na construção

Serviço	CO2 (t)	
	Tipo A	Tipo B
Caminhão carroceria - caminhão c/caçamba térmica (130 kW)	15	-
Caminhão basculante 10 m ³ - 15,0 t (210 kW)	89	211
Caminhão betoneira 5 m ³ - 11,5 t (154 kW)	-	66
104		277

Fonte: autor.

Em relação às emissões geradas no transporte dos materiais na fase da construção verificou-se que as emissões para o transporte dos materiais utilizados no pavimento rígido são superiores em relação ao pavimento asfáltico. Este resultado tem correlação com o gasto energético no transporte dos materiais nesta fase, se destacando as emissões geradas pelo caminhão basculante de 10 m³ utilizados principalmente para o transporte da areia utilizada no concreto.

Quadro 28 - Quantitativo emissões transporte conservação e restauração

Serviço (CONS. + REST.)	CO2 (t)	
	Tipo A	Tipo B
Caminhão carroceria - caminhão c/caçamba térmica (130 kW)	4	-
Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	16	8
Caminhão betoneira 5 m³ - 11,5 t (154 kW)	-	2
	20	9

Fonte: autor.

No Quadro 28 são apresentados os resultados da etapa de conservação e restauração, o transporte relativo aos materiais empregados no pavimento rígido corresponde às maiores emissões geradas. Nesta etapa também há uma correspondência entre os resultados obtidos quando ao gasto energético no transporte dos materiais, com destaque para as emissões geradas pelo caminhão basculante de 10 m³ utilizado principalmente para o transporte da brita.

4.2 ANÁLISE DE IMPACTO DO CICLO DE VIDA

Para este estudo os indicadores ambientais considerados são o consumo de energia primária e potencial de aquecimento global.

4.2.1 Análise do consumo de energia primária

Nas estruturas de pavimento consideradas foram obtidos os seguintes valores da energia primária.

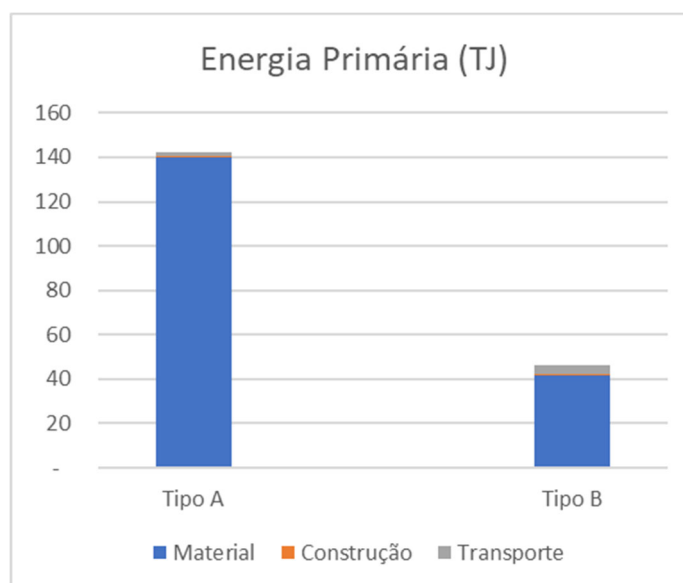
Quadro 29 - Valores da energia primária

Energia Primária (TJ)									
Atividade	Indicador	Tipo A (Asfáltico)				Tipo B (Rígido)			
		Material	Construção	Transporte	TOTAL	Material	Construção	Transporte	TOTAL
Construção	Energia	65	0	1	66	32	0	4	36
Conservação + Restauração	Energia	75	0	0	75	10	0	0	10
TOTAIS GERAIS	Energia	140	1	2	143	42	1	4	46

Fonte: autor.

Pelo Quadro 29, o pavimento asfáltico tem um consumo de 143 TJ, já o pavimento rígido apresenta um consumo de 46 TJ. Dos aspectos avaliados o que representa maior influência na totalidade do consumo de energia é o material em ambos os tipos de pavimento.

Figura 11 – Energia Primária (Gráfico)



Fonte: autor.

A construção e transporte são muito pouco significativos no consumo energético total de ambos os tipos de pavimento. Verifica-se que o consumo de energia do pavimento asfáltico é 68% superior ao do pavimento de concreto. Estes resultados vão de encontro com os de Souza (2017), que obteve 62% e de Silva (2014) com 61% para a comparação energética entre estes tipos de pavimento.

Outro trabalho que corrobora os resultados encontrados, apesar de incorporar mais fases que o presente estudo e um período de análise superior é o de Craig *et.al* (2010), que realizou uma ACV incluindo as fases de extração, transporte, produção, manutenção e remoção ou reciclagem de material, para um período de 50 anos.

Comparando três opções de substituição para um pavimento de concreto no fim de sua vida útil, sendo elas a execução de um novo pavimento de concreto, a execução de um pavimento asfáltico com mistura a quente ou a execução de pavimento asfáltico sobre o pavimento existente.

O pavimento asfáltico correspondeu a alternativa de maior gasto energético, com um gasto 53% superior ao pavimento rígido, com a fase de produção dos materiais sendo a responsável pela maior contribuição em relação ao gasto energético.

Note-se que apesar das diferenças entre os parâmetros dos estudos, os resultados são convergentes, possivelmente por incorporarem em ambos a fase da produção dos materiais que corresponde ao maior gasto energético.

Yu e Lu (2012), em estudo semelhante onde comparam três possíveis estruturas para substituição de um pavimento rígido no final de sua vida útil, considerando a execução de pavimento asfáltico com mistura a quente, execução de um novo pavimento rígido ou a execução de pavimento asfáltico sobre o pavimento existente, com um período de análise de 40 anos, considerando as fases da produção dos materiais, transporte, construção, congestionamento, uso e fim da vida útil.

O consumo de energia resultou superior para o pavimento asfáltico, entre as alternativas estudadas, em mais de 110% em comparação ao pavimento rígido. As fases que respondem por este maior gasto são as dos materiais, congestionamento do tráfego e uso.

Os resultados vão de acordo com os obtidos neste estudo, entretanto observa-se que há uma maior disparidade entre os resultados obtidos, isso ocorre possivelmente pela consideração da fase do uso e congestionamento no estudo de Yu e Lu (2012). Por outro lado, no estudo de Souza (2017), foi considerada a fase de uso e não foi observada uma contribuição significativa desta fase para o gasto energético, possivelmente por adotarem diferentes fontes de dados e metodologia.

Diferente resultado foi obtido por Zatapa e Gambatese (2005), que realizam estudo comparando o consumo de energia nas fases dos materiais e construção para pavimento asfáltico e pavimento rígido reforçado.

Sugerindo que para uma mesma vida útil, o pavimento rígido requer mais energia nas etapas de extração das matérias primas, fabricação e colocação dos materiais na estrutura do pavimento. Salientando, entretanto, que o consumo de energia ao longo de sua vida útil dependera inteiramente de suas condições locais, uso e manutenção.

Apesar de o estudo de Zatapa e Gambatese (2005), ter uma unidade funcional e escopo distinto do presente estudo, os seus resultados podem ser utilizados como parâmetros por comparar os mesmos tipos de pavimentos utilizados neste estudo. Também demonstra a sensibilidade da AVC, que em função de escopos e diferenças entre as metodologias faz com possam ser obtidos resultados distintos.

4.2.2 Análise do potencial de aquecimento global

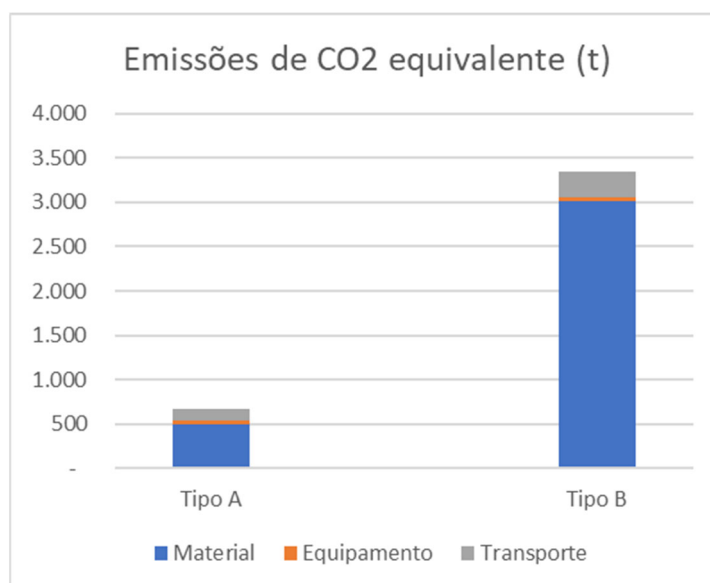
Para análise do potencial de aquecimento global foram consideradas as emissões de CO₂. No Quadro 30 são apresentados os resultados obtidos.

Quadro 30 – Emissões de CO₂

Emissões de CO ₂ equivalente (t)									
Atividade	Indicador	Tipo A (Asfáltico)				Tipo B (Rígido)			
		Material	Equipamento	Transporte	TOTAL	Material	Equipamento	Transporte	TOTAL
Construção	Emissão	452	26	104	582	2904	35	277	3216
Conservação + Restauração	Emissão	52	15	20	88	111	8	9	128
TOTAIS GERAIS	Emissão	504	42	124	670	3015	43	286	3344

Fonte: autor.

Pela análise da Figura 12, vemos que o pavimento do tipo B é o maior gerador de emissões de gás como potencial de aquecimento global, em uma quantidade 80% superior ao pavimento do tipo A, que demonstrou ser um maior consumidor de energia.

Figura 12 – Emissões de CO₂ equivalente (gráfico)

Fonte: autor.

A maior parte da emissão ocorre na etapa da obtenção dos materiais para a construção de ambos pavimentos, no entanto o pavimento tipo B, que utiliza cimento em sua constituição, evidencia o alto impacto que a fabricação do cimento pode exercer na emissão de CO₂ equivalente.

Este resultado das emissões corrobora os resultados obtidos por Souza (2017), que obteve 66% e de Silva (2014) com 71% de emissões de CO₂ equivalente menores nos pavimentos asfálticos comparado ao pavimento rígido.

No estudo desenvolvido por Batouli *et al.* (2017) onde foram analisadas por meio da ACV e ACCV, diferentes alternativas de pavimento para o projeto de extensão da rodovia SR 836-Sudoeste em Miami, Florida. Comparou-se três tipos de estruturas, duas em pavimento rígido, diferindo na espessura das placas de concreto e uma de pavimento asfáltico, para um período de análise de 50 anos.

Considerando todo o período de análise, o pavimento asfáltico apresentou um maior quantitativo de emissões de CO₂ equivalente, considerando as fases de construção, manutenção e uso. O que contribui significativamente para este resultado é a fase de manutenção, em razão dos frequentes serviços requeridos por este tipo de pavimento em comparação ao pavimento rígido.

Mesmo resultado foi obtido por Yu e Lu (2012), onde o pavimento asfáltico responde pela maior quantidade de emissões geradas, isto ocorre principalmente em razão das emissões geradas na fase de uso, ao consideramos apenas às fases coincidentes entre os estudos, material, transporte e construção, o pavimento rígido resulta com maior quantitativo de emissões.

Demonstrando primeiramente a sensibilidade da AVC em relação as fases consideradas que possibilitam resultados distintos na análise de pavimentos semelhantes, por último que a fase de uso tem um impacto significativo na fase das emissões.

Isto ocorre em razão da influência da estrutura do pavimento no consumo de combustíveis e nas emissões atmosféricas geradas pelos veículos, sendo assim, o pavimento asfáltico sofre mais os efeitos da variação do IRI em comparação ao pavimento rígido, com conseqüente maior emissão nesta fase.

Observa-se que Souza (2017) obtém resultado distinto, mesmo considerando a fase de uso. Destacando ainda mais a sensibilidade da ACV em relação a metodologia adotada e os dados utilizados.

Já no estudo desenvolvidos por (CRAIG et al, 2010), o pavimento rígido é o que mais contribui para emissões de CO₂ com emissões superiores ao pavimento asfáltico na ordem de 47%, indo de encontro com o resultado obtido neste trabalho.

4.3 ANÁLISE DOS CUSTOS

Os cálculos dos custos foram efetuados com a utilização do SICRO 2 e os preços contratuais da obra analisada com a consideração dos quantitativos obtidos para cada etapa. A data-base para os valores é a de novembro 2012, que é a mesma da obra analisada.

4.3.1 Custos Construção

No Quadro 31 são apresentados os custos de construção para cada tipo de pavimento considerado neste estudo.

Quadro 31 – Demonstrativo de Quantidades e Preços – Construção

DEMONSTRATIVO DE QUANTIDADES E PREÇOS				
DISCRIMINAÇÃO	UN.	QUANT.	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL (R\$)
CUSTOS CONSTRUÇÃO				
PAVIMENTO TIPO A - ASFÁLTICO				
Regularização do subleito	m ²	10.700,00	0,82	8.774,00
Sub-base solo estabilizado granul. s/ mistura	m ³	1.926,00	24,78	47.726,28
Base de brita graduada BC	m ³	2.140,00	206,80	442.552,00
Conc. betuminoso usinado a quente - capa rolamento AC/BC	t	1.284,00	105,19	135.063,96
Concreto betuminoso usinado a quente - "binder" AC/BC	t	2.311,20	105,19	243.115,13
Imprimação	m ²	21.400,00	0,27	5.778,00
Pintura de ligação	m ²	10.700,00	0,18	1.926,00
Aquisição Material				
Cimento asfáltico CAP 55/75 - Com polímero	t	66,77	1.862,55	124.358,74
Cimento asfáltico CAP-50/70	t	115,56	1.862,55	215.236,28
Asfalto diluído CM-30	t	25,68	2.116,15	54.342,73
Emulsão asfáltica RR-1C	t	4,28	856,54	3.665,99
Transporte				
Material a quente		182,33	44,73	8.155,53
Material a frio		29,96	40,27	1.206,49
Total				1.291.901,13
PAVIMENTO TIPO B - RÍGIDO				
Regularização do subleito	m ²	10.700,00	0,82	8.774,00
Pintura de ligação	m ²	10.700,00	0,18	1.926,00
Base de solo cimento c/ mistura em usina	m ³	2.140,00	122,81	262.813,40
Base de concreto rolado AC/BC	m ³	1.070,00	237,68	254.317,60
Concreto de cimento portland com fôrma deslizante AC/BC	m ³	2.461,00	419,24	1.031.749,64
Aquisição Material				
Emulsão asfáltica RR-1C	t	4,28	856,54	3.665,99
Transporte				
Material a frio		4,28	40,27	172,36
Total				1.563.418,99

Fonte: autor.

O pavimento rígido apresenta um custo de construção por quilômetro superior ao pavimento asfáltico, na ordem de 21,0 %. O serviço da execução da placa de concreto é o serviço de maior custo, com diferenças significativas entre os demais serviços. Este resultado também foi observado por Souza (2017) que observou o maior custo de construção do pavimento rígido frente ao pavimento asfáltico.

Adow *et al.* (2015), que efetuou uma análise comparativa dos custos entre o pavimento asfáltico e pavimento rígido, também observou uma maior custo inicial do pavimento asfáltico sendo os serviços relacionados ao revestimento asfáltico respondendo por 46,28% deste custo.

No presente estudo os serviços relacionados a execução do revestimento asfáltico respondem por 61,0% do custo total do pavimento asfáltico. Sendo os materiais asfálticos os principais responsáveis por este resultado.

Embora o resultado seja convergente entre os estudos há uma diferença quantitativa no resultado, possivelmente por utilizarem estruturas do pavimento distintas, o que faz com que resultem em quantitativos divergentes, outro possível fator é a utilização de metodologia distinta para apuração dos custos dos serviços.

Resultados semelhantes foram obtidos por Batouli *et al.* (2017), que também analisou os custos das alternativas de pavimento, para isto procedeu a aplicação de ACCV e uma análise considerando os custos da agência Florida Department of Transportation (FDOT), em ambas análises o pavimento asfáltico tem um menor custo de construção em comparação ao pavimento rígido.

Diferente resultado foi obtido por Cavalet *et al.* (2019), que efetuou uma análise comparativa do custo-benefício entre os pavimentos flexíveis em concreto asfáltico e pavimentos rígidos em concreto de cimento portland aplicado a um trecho da SC-114, localizado entre Otacílio Costa e Lages.

Através da comparação obteve o resultado de que o pavimento asfáltico apresenta um custo superior ao pavimento rígido na etapa de construção, em razão da utilização do concreto asfáltico modificado por polímero do tipo EVA, que representou 49,0% dos custos totais do pavimento asfáltico.

Este resultado demonstra que os custos relativos ao pavimento são correlacionados com o tipo da estrutura que se está analisando e os custos relativos aos materiais empregados na solução. Não havendo uma correlação direta entre o tipo de pavimento e seu maior ou menor custo frente a outra alternativa, devendo ser estudados seus custos para cada caso em particular.

4.3.2 Custos de Conservação e Restauração

São apresentados no Quadro 32 os custos referentes aos serviços de conservação e restauração para cada alternativa de pavimento estudada considerando um período de 20 anos.

Quadro 32 – Demonstrativo de Quantidades e Preços – Conservação e Restauração

DEMONSTRATIVO DE QUANTIDADES E PREÇOS				
DISCRIMINAÇÃO	UN.	QUANT.	PREÇO UNITÁRIO	PREÇO TOTAL (R\$)
CUSTOS CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO				
PAVIMENTO TIPO A - ASFALTICO (CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO) - (CICLO 20 ANOS)				
Base de brita graduada BC	m³	34,24	206,80	7.080,83
Conc. betuminoso usinado a quente - capa rolamento AC/BC	t	966,85	105,19	101.703,16
Concreto betuminoso usinado a quente - "binder" AC/BC	t	76,27	105,19	8.022,84
Imprimação	m²	26.386,00	0,27	7.124,22
Pintura de ligação	m²	13.193,00	0,18	2.374,74
Fresagem contínua do revest. betuminoso	m³	342,40	131,62	45.066,69
Micro-revestimento a frio - Microflex 15 cm BC	m²	12.840,00	4,92	63.172,80
Aquisição Material				
Cimento asfáltico CAP 55/75 - Com polímero	t	50,28	1.862,55	93.642,13
Cimento asfáltico CAP-50/70	t	3,81	1.862,55	7.102,83
Asfalto diluído CM-30	t	31,66	2.116,15	67.004,08
Emulsão asfáltica RR-1C	t	5,28	856,54	4.520,13
Emulsão polímera para micro-revestimento à frio		37,24	1.435,68	53.459,09
Transporte				
Material a quente		54,09	44,73	2.419,44
Material a frio		36,94	40,27	1.487,59
Total				464.180,57
PAVIMENTO TIPO B - RIGIDO (CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO) - (CICLO 20 ANOS)				
Recomposição de placa de concreto AC/BC	m³	192,60	318,13	61.271,84
Concreto de cimento portland com fôrma deslizante AC/BC	m³	98,44	419,24	41.269,99
Total				102.541,83

Fonte: autor.

Verifica-se que o pavimento asfáltico apresenta um custo superior em relação ao pavimento rígido, por necessitar um número de intervenções maiores durante o período analisado. Este resultado coincide com o obtido por Souza (2017), que observou um custo mais elevado na conservação e restauração de pavimentos asfálticos em comparação aos pavimentos rígidos.

Mesmo resultado obtido por Adow *et al.* (2015), que constatou que o pavimento asfáltico apresenta um custo mais elevado de manutenção que o pavimento rígido em função de necessitar mais intervenções ao longo do período.

Do mesmo modo Batouli *et al.* (2017), em ambas análises de custos efetuadas, ACCV e utilização dos custos da agência, obtém que o pavimento rígido apresenta o menor custo na etapa de conservação e restauração, em decorrência da maior frequência de serviços necessários ao pavimento asfáltico.

Os resultados obtidos por Embacher e Snyder (2001), corroboram o resultado encontrado no presente trabalho, por meio da aplicação da ACCV de pavimentos

asfálticos e pavimentos de rígidos em rodovias de baixo tráfego conclui que os custos de manutenção do pavimento asfáltico são significativamente superiores em relação ao pavimento rígido, para os pavimentos analisados.

O resultado obtido também é convergente ao obtido por Cavalet *et al.* (2019), onde o pavimento asfáltico apresentou custos superiores ao pavimento rígido, em razão da maior necessidade de intervenções durante seu ciclo de vida.

4.3.3 Custos Totais

Os custos totais de cada alternativa de pavimento analisada no presente estudo são apresentados no Quadro 33.

Quadro 33 – Custos Totais

DISCRIMINAÇÃO	PREÇO TOTAL (R\$)
CUSTOS TOTAIS	
PAVIMENTO TIPO A - ASFÁLTICO	
Custos de Construção	1.291.901,13
Custos de Conservação e Restauração	464.180,57
Total	1.756.081,70
PAVIMENTO TIPO B - RÍGIDO	
Custos de Construção	1.563.418,99
Custos de Conservação e Restauração	102.541,83
Total	1.665.960,82

Fonte: autor.

Se observa que embora o pavimento rígido tenha um custo de construção superior ao do pavimento asfáltico, ele é a alternativa com menor custo total no período analisado. Isso se deve provavelmente ao menor número de intervenções necessárias neste tipo de pavimento ao longo do tempo.

Este resultado se deve principalmente à grande diferença nos custos de conservação e restauração, que no período de análise resultaram em mais de quatro vezes superior para o pavimento asfáltico em comparação ao pavimento rígido.

Evidenciado que deve ser esta, a etapa onde as melhorias podem ser implementadas para uma redução dos custos totais associados ao pavimento asfáltico, podendo ser estudadas soluções que necessitem um número menor de

intervenções ao longo do período, conseqüentemente reduzindo o seu custo nesta etapa.

Resultado semelhante foi obtido por Cavalet *et al.* (2019), onde conclui que o pavimento rígido é a alternativa mais viável economicamente considerando todas as etapas, no entanto difere na alternativa de menor custo na etapa da construção, já que em seu estudo o pavimento asfáltico é o mais caro nesta etapa.

Assim como Batouli *et al.* (2017), que constatou que em termos de todo o processo de ciclo de vida as alternativas de pavimento rígido apresentam um custo inferior em comparação ao pavimento asfáltico. Estando o pavimento asfáltico associado a um baixo custo inicial e um alto custo a longo prazo.

4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS TOTAIS

Os dados apresentados no Quadro 34 são os resultados totais obtidos neste estudo.

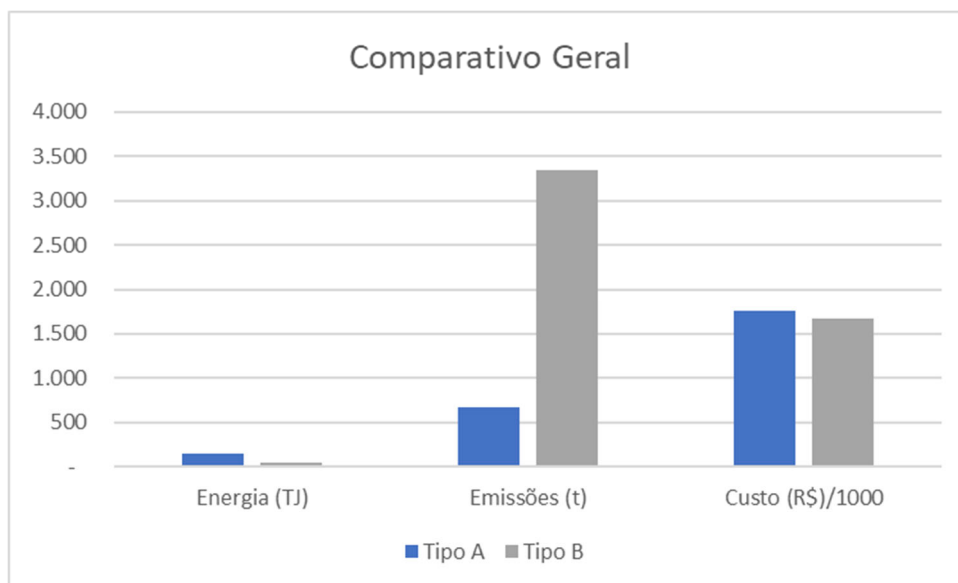
Quadro 34 – Comparativo Geral

COMPARATIVO GERAL			
Pavimento	TOTAIS		
	Energia (TJ)	Emissões (t)	Custo (R\$)/1000
Tipo A (Asfáltico)	143	670	1.756
Tipo B (Rígido)	46	3.344	1.666

Fonte: autor.

Se observa que o pavimento do asfáltico apresenta um maior gasto de energia e um custo total mais elevado em comparação ao pavimento rígido.

Figura 13 – Comparativo Geral (Gráfico)



Fonte: autor.

No entanto, o pavimento do rígido apresenta uma emissão de CO₂ equivalente muito superior ao pavimento asfáltico, o que gera um potencial de dano ambiental maior entre as alternativas analisadas.

O maior gasto energético do pavimento asfáltico está associado a etapa da produção dos materiais, principalmente na produção dos materiais asfálticos, sendo esta a etapa onde devem ser empregadas as melhorias para um melhor resultado em relação ao gasto energético.

Uma alternativa para diminuição do gasto de energia no pavimento asfáltico pode ser a utilização de misturas asfálticas mornas. Em estudo efetuado por Cao *et al.* (2019), onde foi avaliado o desempenho de economia de energia de três tipos de misturas asfálticas mornas em pavimentos de asfalto borracha, os resultados mostraram uma redução do gasto de energia devido à utilização da mistura asfáltica morna, principalmente na fase de produção dos materiais.

Outra possível alternativa para redução dos gastos energéticos do pavimento asfáltico é a utilização das misturas asfálticas mornas em associação ao pavimento asfáltico reciclado, podendo se obter um melhor resultado ambiental e econômico.

Vidal *et al.* (2013) efetuou estudo de AVC de pavimentos asfálticos incluindo mistura asfáltica quente, mistura asfáltica morna com adição de zeolitas sintéticas, e misturas asfálticas com pavimento asfáltico reciclado.

Sendo observada uma diminuição de 13,0% a 14,0% na demanda de energia acumulada, bem como nos demais impactos analisados, com a adição de 15,0% de pavimento asfáltico reciclado na mistura.

Concluindo que utilização da mistura asfáltica morna com pavimento asfáltico reciclado pode ser uma boa alternativa em termos ambientais frente às misturas asfálticas a quente, desde que utilizem uma grande quantidade pavimento asfáltico reciclado em sua mistura.

Semelhante resultado obtido por Hasan *et al.* (2020), que aplicou uma AVC em um estudo de caso em rodovia localizada em Abu Dhabi, onde foram avaliadas as utilizações de resíduos de construção, pavimento de asfalto recuperado, mistura asfáltica morna e uso de escória de alto-forno contra a abordagem tradicional.

Onde foi observado que as maiores reduções dos impactos ambientais geradas pelo uso de misturas asfálticas mornas, invés de misturas asfálticas quentes, estão relacionadas com a possibilidade de utilização de uma grande quantidade de pavimento asfáltico reciclado em sua mistura. Ao adicionar 85% de material reciclado a mistura, a energia foi reduzida em 70% em comparação a uma mistura asfáltica a quente virgem.

As maiores emissões de CO₂ equivalentes são verificadas no pavimento rígido durante a fase de produção dos materiais, tendo como o principal gerador a produção de cimento.

Ma *et al.* (2016) constatou resultado semelhante ao estudar as emissões CO₂ equivalentes para construção de pavimento de concreto na China, constatando que a fase de produção dos materiais corresponde por 92.7% do total das emissões geradas.

Como alternativa para a diminuição das emissões em pavimentos rígidos é a possibilidade de utilizar o concreto poroso em substituição ao concreto regular.

Em estudo desenvolvido por Singh *et al.* (2020), onde aplicou um AVC para verificar quais os benefícios de oferecidos pelo pavimento de concreto poroso frente pavimento de concreto de cimento Portland, constatou que o total da energia

associada e das emissões de gases no pavimento de concreto poroso reduziram em 3% e 2,7%, respectivamente, comparadas com o pavimento de concreto tradicional.

Em estudo desenvolvido por Shi *et al.* (2018) foi apresentado um inventário do ciclo de vida de três tipos de pavimento, pavimento de concreto poroso, pavimento de concreto poroso com material asfáltico reciclado como agregado e um pavimento contendo duas camadas para revestimento de concreto, o superior de espessura inferior de concreto poroso e a camada inferior mais espessa de concreto poroso com material asfáltico reciclado como agregado.

Como resultado se observou que o pavimento contendo duas camadas para revestimento de concreto, concreto poroso e concreto poroso com material reciclado como agregado foi o que obteve melhor desempenho quanto aos impactos ao meio ambiente, entre eles a menor emissão de CO₂ equivalentes entre as alternativas dos pavimentos analisados.

O maior custo total do pavimento asfáltico resulta do maior custo envolvido na fase de conservação e restauração do pavimento, em razão da maior necessidade de execução de serviços neste tipo de pavimento, desta forma para uma diminuição dos custos devem ser estudadas soluções de dimensionamento e utilização de materiais que aumentem o desempenho da superfície do pavimento prolongando o intervalo de tempo entre às intervenções no pavimento com conseqüente possível diminuição do custo desta etapa.

O pavimento rígido está associado ao maior custo na fase de construção do pavimento em razão dos custos para execução do concreto, principalmente devido ao custo do cimento, assim à utilização de soluções que diminuam a quantidade de cimento incorporada no concreto são indicadas para redução dos custos do pavimento rígido. Neste sentido, podem ser estudados traços de concreto com a incorporação de aditivos para diminuição do consumo de cimento e custo final do concreto.

5 Considerações Finais

5.1 Conclusões

Por meio da aplicação da ACV nas duas estruturas de pavimento propostas foi possível verificar o possível impacto gerado ao longo das etapas analisadas, produção dos materiais, equipamentos e transporte durante às atividades de construção, conservação e restauração. A análise dos custos relacionados a cada alternativa estudada foi efetuada através da utilização do SICRO 2.

Foi verificado que a fase de produção dos materiais corresponde pelo maior consumo energético e emissões de CO₂ equivalente, em ambas alternativas dos pavimentos estudados. Sendo o pavimento asfáltico o responsável pelo maior consumo energético e o pavimento rígido respondendo pela maior quantidade de emissões de CO₂ equivalente geradas.

O maior custo de construção da estrutura do pavimento foi observado no pavimento rígido, entretanto os maiores custos referente a conservação e restauração forma observados no pavimento asfáltico.

Bem como, o pavimento asfáltico demonstrou ser o pavimento de maior custo total ao longo do período analisado, no entanto apresentou uma emissão total de CO₂ equivalente bem inferior ao pavimento rígido, o qual apresentou o menor custo ao longo do período de análise.

Demonstrando assim, a funcionalidade da aplicação da análise de ciclo de vida no processo decisório da escolha da alternativa do pavimento, possibilitando à geração de dados para os órgãos tomadores de decisão que podem respaldar as suas decisões quanto a qual alternativa de pavimento deva ser implementada.

Entretanto, observa-se que as informações geradas são insuficientes para determinar qual alternativa de pavimento gera um menor ou maior impacto ambiental. Limitações e incertezas relativas aos dados e a não consideração das fases de uso e final de vida, podem alterar os resultados obtidos.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

O tema de avaliação de ciclo de vida empregado na pavimentação é tema insipiente no Brasil, deste modo há muitos temas que podem ser abordados relacionados a temática. Assim, seguem algumas sugestões para trabalhos futuros.

- A elaboração de uma análise do ciclo de vida e custos considerando a reciclagem de pavimentos asfálticos e pavimentos de concreto;
- A elaboração de uma análise do ciclo de vida e custos considerando a utilização de diferentes materiais na execução de pavimentos asfálticos e pavimentos de concreto;
- A geração de um banco de dados nacional para área da pavimentação rodoviária e a elaboração de uma norma relativa as fases que devem ser consideradas na elaboração de uma AVC.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040**: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2001. 10p.

ACV – **Avaliação do Ciclo de Vida**. s/d. Disponível em: <http://acv.ibict.br/acv/historico-da-acv/>. Acesso em 17 maio. 2020.

ADOW, M. A. O.; ALLOTEY, S. E.; NEEQUAYE, B. K. S. Comparative Cost Analysis between Asphalt Pavement and Concrete Pavement in Road Construction: A Case study using Concrete grade 35. **Department of Building Technology, Accra Polytechnic**. v. 10, 2015.

BATOULI, M.; BIENVENU, M.; MOSTAFABI, A. Putting sustainability theory into roadway design practice: Implementation of LCA and LCCA analysis for pavement type selection in real world decision making. **Transportation Research Part D**. v.52, 2017.

BRASIL, 2009. **Lei nº 12.017 de 12 de agosto de 2009**. Dispõe sobre as diretrizes para a elaboração e execução da Lei Orçamentária de 2010 e dá outras providências. Brasília, DF. 12 ago. 2009.

CALDAS, L.; LINS, D.; SPOSTO, R. Avaliação do Ciclo de Vida de Pavimento de Concreto Drenante Considerando diferentes unidades funcionais. **Mix Sustentável**, v. 3, n. 3, p. 14-23, 2017.

CHEN, X.; WANG, H. Life Cycle Assessment of Asphalt Pavement Recycling for Greenhouse Gas Emission with Temporal Aspect, **Journal of Cleaner Production** 2018.

CHEHEBE, J. R. **Análise do Ciclo de Vida de produtos**: ferramenta gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., CNI, 1997.

CIRINO, M.M.; SOUZA, A.R. O discurso de alunos do ensino médio a respeito da "camada de ozônio". **Ciência & Educação**, v. 14, n. 1, p. 115–134, 2008. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/2510/251019506008.pdf>. Acesso em 22 fev. 2020.

CNT - Confederação Nacional do Transporte. **Transporte rodoviário**: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram? 24. ago. 2017. Brasília: CNT, 2017. Disponível em: <https://cnt.org.br/agencia-cnt/cnt-divulga-estudo-por-que-pavimento-rodovias-brasil-nao-duram-resultados>. Acesso em 20 maio 2020.

CRAIG, D. W.; STEPHEN, T. M. **Life Cycle Assessment of Portland Cement Concrete Interstate Highway Rehabilitation and Replacement**. 2010. 107p. University of Washington, Washington, 2010.

CURRAN, M. A. **Life Cycle Assessment: Principles and Practice**. EPA – Environmental Protection Agency: Cincinnati, EUA, 2006.

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de custos de infraestrutura de transportes**. v. 8. Brasília: DNIT, 2017. 103p.

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de restauração de Pavimentos Asfálticos**. Brasília: DNIT, 2006.

EMBACHER, R. A.; SNYDER, M. B. Life-Cycle Cost Comparison of Asphalt and Concrete Pavements on Low-Volume Roads Case Study Comparisons. **Transportation Research Record**. n. 01-3400, 2001.

FHWA - Federal Highway Administration. **Pavement Life Cycle Assessment Framework**. Washington: Federal Highway Administration, 2016. 246p.

FRANCISCO, A.P.S. **Comportamento estrutural de pavimentos rodoviários flexíveis**. 2012. 132p. Relatório Final de Projeto (Mestre em Engenharia da Construção), Escola Superior de Tecnologia e de Gestão Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2012.

HASAN, U.; WHYTE, A.; JASSMI, H. Life cycle assessment of roadworks in United Arab Emirates: Recycled construction waste, reclaimed asphalt pavement, warm-mix asphalt and blast furnace slag use against traditional approach. **Journal of Cleaner Production**. 2020.

IVEL, J.; WATSON, R.; ABBASSI, B.; HAMETTEH, Z. S. A. Life cycle analysis of concrete and asphalt used in road pavements. **Environmental Engineering Research**. v. 25(1), p. 52-61, 2018.

MA, H.; ZHANG, Z.; ZHAO, X.; WU, S. A Comparative Life Cycle Assessment (LCA) of Warm Mix Asphalt (WMA) and Hot Mix Asphalt (HMA) Pavement: A Case Study in China, **Hindawi Advances in Civil Engineering**. 2019.

MOLION, L.C.B. Aquecimento global: uma visão crítica. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 3, p. 07 - 24, 2008. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/viewFile/25404/17024>. Acesso em: 10 jan. 2020.

PASSOS, M., SOUZA, R. A paisagem, uma ferramenta de análise das mudanças socioambientais no eixo da rodovia BR-163: de Cuiabá/MT a Santarém/PA. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, n. 3 (Junho). Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território. 2013, p. 171-196.

PEREIRA, L. A. G.; LESSA, S. N. O Processo de Planejamento e Desenvolvimento do Transporte Rodoviário no Brasil, 2011, **Caminhos de Geografia Uberlândia**, v.12, n. 40, p. 26 -46.

ROBINETTE, C.; EPPS, J. Energy, Emissions, Material Conservation and Prices Associated with Construction, Rehabilitation and Material Alternatives for Flexible Pavement. Transportation Research Record: **Journal of the Transportation Research Board of the National Academies**. v. 2179, p. 10–22, 2010.

RODRIGUES, M, S. **Civilização do Automóvel A BR 319 e a Ocupação Rodoviária Brasileira**. 2011. 188p. Dissertação (Mestrado em Sociologia), Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus, 2011.

SANTERO, N.J.; MASANET, E.; HORVATH, A. Life-cycle assessment of pavements. Part I: Critical review. Resources, **Conservation and Recycling**, v. 55, n. 9-10, p. 801-809, 2011.

SAVIETTO, J.P. **Análise de Impactos Ambientais da Restauração de Pavimentos Asfálticos pela Avaliação do Ciclo de Vida**. 2017. 110p. Dissertação (Mestre em Ciências), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

SCHENCK, R. Using LCA for procurement decisions. A case study performed for the US Environmental Protection Agency. **Environmental Progress**. v. 19, p.110-116, 2000.

SINGH, A.; VADDY, P.; BILIGIRI, K. P.; Quantification of embodied energy and carbon footprint of pervious concrete pavements through a methodical lifecycle assessment framework, **Resources, Conservation & Recycling**, v. 161, 2020.

SHI, X.; MUKHOPADHYAY, A.; ZOLLINGER, D. Sustainability assessment for portland cement concrete pavement containing reclaimed asphalt pavement aggregates, **Journal of Cleaner Production**. 2018.

SOUZA, L.P. **Uso Integrado das Ferramentas de Análise do Ciclo de Vida e de Análise do Custo do Ciclo de Vida em Pavimentação**. 2017. 178p. Dissertação (Mestre em Ciências), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

UNEP/SETAC. **Life Cycle Approaches – the road from analysis to practice**. United Nations Environment Program/Society of Environmental Toxicology and Chemistry. Paris, France, 2005.

WANG, H.; AL-SAAD, I.; LU, P.; JASIM, A. Quantifying greenhouse gas emission of asphalt pavement preservation at construction and use stages using life-cycle assessment. **International Journal of Sustainable Transportation**, 2019.

WENZEL, H.; HAUSCHILD, M.Z.; ALTING, L. **Environmental Assessment of Products**. Kluwer Academic Publishers. v. 1, 1997.

WILLERS, C.D.; RODRIGUES, L.B.; SILVA, C. A. DA. Avaliação do ciclo de vida no Brasil: uma investigação nas principais bases científicas nacionais. **Produção**, v. 23,

n. 2, p. 436-447, 2013. Disponível em:
https://www.scielo.br/pdf/prod/v23n2/aop_t6_0009_0533.pdf. Acesso em 02 jun.
2020.

YU, B.; LU, Q. Life cycle assessment of pavement: Methodology and case study. **Transportation Research Part D**. v.17, 2012.

ZAPATAPA, P.; GAMBATESE, J. A. Energy Consumption of Asphalt and Reinforced Concrete Pavement Materials and Construction. **Journal of Infrastructure Systems**. 2005.

APÊNDICES

APÊNDICE A - PLANILHA DE DIMENSÕES GEOMÉTRICAS DOS PAVIMENTOS AVALIADOS

Geometria da Rodovia - (Pista Nova)

Acostamentos		Quantidade de Faixas (unid)	
Largura da Faixa (m)	3,5	2	1.000
Extensão (m)			

Quantidades para cada pavimento

PAVIMENTO TIPO A - FLEXÍVEL	Espessura (m)	Volume (m³)	γ (t/m³)	t/km
2 S 02 110 00	0,200	área	10.700	m²
2 S 02 200 00	0,180	1.926,000	2,4	4.622,400
2 S 02 230 50	0,200	2.140,000	2,4	5.136,000
2 S 02 540 51	0,050	535,000	2,4	1.284,000
2 S 02 540 52	0,090	963,000	2,4	2.311,200
2 S 02 300 00	2,000	Camadas	21.400	m²
2 S 02 400 00	1,000	Camada	10.700	m²

* Foi considerada a espessura média (17cm na pista; 26cm no acostamento);

PAVIMENTO TIPO B - RÍGIDO	Espessura (m)	Volume (m³)	γ (t/m³)	t/km
2 S 02 110 00	0,200	área	10.700	m²
2 S 02 400 00	1,000	Camada	10.700	m²
2 S 02 241 01	0,20	2.140,000	2,3	4.922,000
2 S 02 603 50	0,10	1.070,000	2,0	2.140,000
2 S 02 606 50	0,23	2.461,000	2,5	6.152,500

BL- barra de ligação (longitudinal)

P/ 1 barra a cada 80 cm: 1.250 barras
Comprimento: 0,95 m
Total de Barras: 1.187,50 m
Bitola 12,5 mm 0,96 Kg/m
CA-50 1.140,00 kg

BT- barra de transferência (transversal)

Largura total da via: 10,7 m
P/ 1 barra a cada 30 cm: 36 barras
Junta a cada 5 m: 200 Juntas
Total de Barras: 7.133 barras
Comprimento: 0,46 m
Extensão total barras: 3.281 m
Bitola 32mm 6,31 kg/m
CA-25 20.705 Kg

APÊNDICE B - PLANILHA DE QUANTITATIVOS DE RESTAURAÇÃO DOS PAVIMENTOS AVALIADOS

Geometria da Rodovia - (Pista Nova)

Acostamentos		Quantidade de Faixas (unit)
Largura da Faixa (m)	3,5	2
Extensão (m)		1.000

Quantidades para cada pavimento

PAVIMENTO TIPO A - FLEXÍVEL (RESTAURAÇÃO) - (CICLO 20 ANOS)		Espessura (m)	Volume (m³)	γ (t/m³)	t/km
5 S 02 511 52	Micro-revestimento a frio - Microflex 1,5 cm BC		área	12.840	m²
5 S 02 990 11	Fresagem contínua do revest. Betuminoso	0,020	256,800	2,4	616,320
2 S 02 400 00	Pintura de ligação		área	12.840	m²
2 S 02 540 51	Conc. betuminoso usinado a quente - capa rolamento AC/BC	0,030	385,200	2,4	924,480
PAVIMENTO TIPO B - RÍGIDO (RESTAURAÇÃO) - (CICLO 20 ANOS)		Espessura (m)	Volume (m³)	γ (t/m³)	t/km
3 S 02 601 50	Recomposição de placa de concreto AC/BC	0,03	64,200	2,3	147,660
2 S 02 606 50	Concr.de cimento portl.com fôrma deslizante AC/BC	0,23	98,440	2,5	246,100

APÊNDICE C - PLANILHA DE QUANTITATIVOS DE CONSERVAÇÃO DOS PAVIMENTOS AVALIADOS

Geometria da Rodovia - (Pista Nova)

Acostamentos		Quantidade de Faixas (unit)
Largura da Faixa (m)	3,5	2
Extensão (m)	1.000	

Quantidades para cada pavimento

PAVIMENTO TIPO A - FLEXÍVEL (CONSERVAÇÃO) - (CICLO 20 ANOS)				
	Espessura (m)	Volume (m³)	γ (t/m³)	t/km
2 S 02 230 50	0,200	34,240	2,4	82,176
Base de brita graduada tratada com cimento (BGTC)*				
2 S 02 540 51	0,050	17,655	2,4	42,372
CBUQ - capa de rolamento modificado por polímero SBS AC/BC				
2 S 02 540 52	0,090	31,779	2,4	76,270
CBUQ - "binder" AC/BC				
2 S 02 300 00	2,000	Camadas	706 m²	
Imprimação				
2 S 02 400 00	1,000	Camada	353 m²	
Pintura de Ligação				
5 S 02 990 11	0,020	85,600	2,4	205,440
Fresagem contínua do revest. Betuminoso				

PAVIMENTO TIPO B - RÍGIDO (CONSERVAÇÃO) - (CICLO 20 ANOS)				
	Espessura (m)	Volume (m³)	γ (t/m³)	t/km
3 S 02 601 50	0,03	128,400	2,3	295,320
Recomposição de placa de concreto AC/BC				
		área	10.700 m²	

APÊNDICE D - PLANILHA DE QUANTITATIVOS TOTAIS DE RESTAURAÇÃO E CONSERVAÇÃO DOS PAVIMENTOS AVALIADOS

Geometria da Rodovia - (Pista Nova)

Acostamentos		Quantidade de Faixas	
Largura da Faixa (m)	(m)	(unid)	Extensão (m)
3,60	3,5	2	1.000

Quantidades para cada pavimento

PAVIMENTO TIPO A - FLEXÍVEL (RESTAURAÇÃO) - (CICLO 20 ANOS)	Espessura (m)	Volume (m³)	γ (t/m³)	t/km
2 S 02 230 50	0,200	34,240	2,4	82,176
Base de brita graduada tratada com cimento (BGTC)*				
2 S 02 540 51	0,050	17,655	2,4	966,852
CBUQ - capa de rolamento modificado por polímero SBS AC/BC				
2 S 02 540 52	0,090	31,779	2,4	76,270
CBUQ - "binder" AC/BC				
2 S 02 300 00	2,000	Camadas	26.386	m²
Imprimação				
2 S 02 400 00	1,000	Camada	13.193	m²
Pintura de Ligação				
5 S 02 990 11	0,020	342,400	2,4	1.438,080
Fresagem contínua do revest. Betuminoso				
5 S 02 511 52		área	12.840,00	m²
Micro-revestimento a frio - Microflex 1,5 cm BC				

PAVIMENTO TIPO B - RÍGIDO (RESTAURAÇÃO) - (CICLO 20 ANOS)	Espessura (m)	Volume (m³)	γ (t/m³)	t/km
3 S 02 601 50	0,03	192,600	10.700	442,980
Recomposição de placa de concreto AC/BC				
2 S 02 606 50	0,23	98,440	2,5	246,100
Concr. de cimento portl.com fôrma deslizante AC/BC				

APÊNDICE E - QUANTITATIVOS PARA CONSTRUÇÃO DO PAVIMENTO NOVO									
Código	Potência (KW)	Cod. Insumo	Serviço	und	Coef.	Aux.	Tipo A Quant.	Tipo B Quant.	
2 S 02 110 00 Regularização do subleito		Produção		841		m ²		10.700,00	
		T511	Encarregado de pavimentação	h	0,001189		12,72	10.700,00	12,72
		T701	Servente	h	0,003567		38,17		38,17
103		E006	Motoniveladora (103 kW)	h	0,000654		7,00		7,00
74		E007	Trator agrícola (74 kW)	h	0,000618		6,62		6,62
82		E013	Rolo compactador pé-de-carneiro 11,25 t (82 kW)	h	0,001189		12,72		12,72
		E101	Grade de discos - GA 24 x 24	h	0,000618		6,62		6,62
98		E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	h	0,000927		9,92		9,92
191		E407	Caminhão tanque 10.000 l (210 kW)	h	0,001165		12,47		12,47
2 S 02 200 00 Sub-base solo estabilizado granul. s/ mistura		Produção		168		m ³		4.622,40	
		T511	Encarregado de pavimentação	h	0,005952		27,51		27,51
		T701	Servente	h	0,017857		82,54		82,54
103		E006	Motoniveladora (103 kW)	h	0,004643		21,46		21,46
74		E007	Trator agrícola (74 kW)	h	0,003095		14,31		14,31
82		E013	Rolo compactador pé-de-carneiro 11,25 t (82 kW)	h	0,005952		27,51		27,51
		E101	Grade de discos - GA 24 x 24	h	0,003095		14,31		14,31
98		E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	h	0,004643		21,46		21,46
210		E404	Caminhão basculante 10 m ³ - 15,0 t (210 kW)	h	0,005952		27,51		27,51
191		E407	Caminhão tanque 10.000 l (210 kW)	h	0,003214		14,86		14,86
		1 A 01 100 01	Limpeza camada vegetal em jazida (const e restr.)	m ²	0,700000		3.235,68		3.235,68
		1 A 01 105 01	Expurgo de jazida (const e restr)	m ³	0,200000		924,48		924,48
		1 A 01 120 01	Escav. e carga de mater. de jazida(const e restr)	m ³	1,150000		5.315,76		5.315,76
Transporte		1 A 01 120 01	Escav. e carga de mater. de jazida(const e restr)	m ³	1,840000		8.505,22		8.505,22
2 S 02 230 50 Base de brita graduada BC tratada com cimento (BGTC)		Produção		121		m ³		5.136,00	
		T511	Encarregado de pavimentação	h	0,008264		42,45		42,45
		T701	Servente	h	0,024793		127,34		127,34
82		E102	Rolo compactador tandem vibratório 10,2 t (82 kW)	h	0,006033		30,99		30,99
98		E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	h	0,006198		31,83		31,83
103		E109	Distribuidor de agregados (103 kW)	h	0,007355		37,78		37,78
210		E404	Caminhão basculante 10 m ³ - 15,0 t (210 kW)	h	0,008264		42,45		42,45
191		E407	Caminhão tanque 10.000 l (210 kW)	h	0,005785		29,71		29,71
		1 A 01 395 51	Usinagem de brita graduada BC	m ³	1,000000		5.136,00		5.136,00
Transporte		1 A 01 395 51	Usinagem de brita graduada BC	m ³	2,400000		12.326,40		12.326,40
2 S 02 603 50 Base de concreto rolado AC/BC		Produção		149		m ³		2.140,00	
		T511	Encarregado de pavimentação	h	0,006711		14,36		14,36
		T701	Servente	h	0,040268		86,17		86,17
82		E102	Rolo compactador tandem vibratório 10,2 t (82 kW)	h	0,005235		11,20		11,20
98		E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	h	0,004631		9,91		9,91
103		E160	Fresadora e distribuidora de solo (243 kW)	h	0,002349		5,03		5,03
210		E404	Caminhão basculante 10 m ³ - 15,0 t (210 kW)	h	0,006711		14,36		14,36
191		E407	Caminhão tanque 10.000 l (210 kW)	h	0,005570		11,92		11,92
		1 A 01 653 50	Usinagem para sub-base de concreto rolado AC/BC	m ³	1,000000		2.140,00		2.140,00
Transporte		1 A 01 653 50	Usinagem para sub-base de concreto rolado AC/BC	m ³	2,400000		5.136,00		5.136,00
Transporte		1 A 00 717 00	Brita comercial		2,280000		4.879,20		4.879,20

APÊNDICE E - QUANTITATIVOS PARA CONSTRUÇÃO DO PAVIMENTO NOVO							
Código	Potência (KW)	Cod. Insumo	Serviço	und	Coef.	Aux.	Quant.
2 S 02 300 00 Imprimação				Produção	1125	m ²	21.400,00
		T511	Encarregado de pavimentação	h	0,000889	1,00	19,02
		T701	Servente	h	0,002667	3,00	57,07
	74	E007	Trator agrícola (74 kW)	h	0,000293	0,33	6,28
		E107	Vassoura mecânica rebocável	h	0,000293	0,33	6,28
	175	E110	Tanque de estocagem de asfalto 30.000 l	h	0,000889	1,00	19,02
		E111	Equipamento distribuidor de asfalto (175 kW)	h	0,000889	1,00	19,02
		M103	Asfalto diluído CM-30	t	0,001200	0,0012	25,68
		M103	Asfalto diluído CM-30	t	0,001200	0,0012	25,68
2 S 02 400 00 Pintura de ligação				Produção	1687	m ²	10.700,00
		T511	Encarregado de pavimentação	h	0,000593	1,00	6,34
		T701	Servente	h	0,001778	3,00	19,03
	74	E007	Trator agrícola (74 kW)	h	0,000593	1,00	6,34
		E107	Vassoura mecânica rebocável	h	0,000593	1,00	6,34
	175	E110	Tanque de estocagem de asfalto 30.000 l	h	0,001186	2,00	12,69
		E111	Equipamento distribuidor de asfalto (175 kW)	h	0,000593	1,00	6,34
		M104	Emulsão asfáltica RR-1C	t	0,000400	0,0004	4,28
		M104	Emulsão asfáltica RR-1C	t	0,000400	0,0004	4,28
2 S 02 540 52 CBUQ - capa "binder" AC/BC				Produção	75	t	2.311,20
		T511	Encarregado de pavimentação	h	0,013333	1,00	30,82
		T701	Servente	h	0,106667	8,00	246,53
	74	E007	Trator agrícola (74 kW)	h	0,003200	0,24	7,40
	82	E102	Rolo compactador tandem vibratório 10.2 t (82 kW)	h	0,007467	0,56	17,26
	98	E105	Rolo compactador de pneus 25.0 t (98 kW)	h	0,007733	0,58	17,87
		E107	Vassoura mecânica rebocável	h	0,003200	0,24	7,40
	74	E149	Vibro-acabadora de asfalto (74 kW)	h	0,010800	0,81	24,96
	210	E404	Caminhão basculante 10 m ³ - 15,0 t (210 kW)	h	0,013333	1,00	30,82
		1 A 01 390 53	Usinagem de CBUQ (binder) AC/BC	t	1,000000	1,00	2.311,20
		M101	Cimento asfáltico CAP 50/70	t	0,055000		127,12
		1 A 00 716 00	Areia comercial		0,242000		559,31
		1 A 00 717 00	Brita comercial		0,709500		1.639,80
		1 A 01 390 53	Usinagem de CBUQ (binder) AC/BC		1,000000		2.311,20
Transporte							
Transporte							
Transporte							
Transporte							

APÊNDICE E - QUANTITATIVOS PARA CONSTRUÇÃO DO PAVIMENTO NOVO								
Código	Potência (KW)	Cod. Insumo	Serviço	und	Coef.	Aux.	Tipo A Quant.	Tipo B Quant.
2 S 02 540 51 CBUQ - capa rolamento AC/BC							1.284,00	
		T511	Encarregado de pavimentação	h	0,013333	1,00	17,12	
		T701	Servente	h	0,106667	8,00	136,96	
	74	E007	Trator agrícola (74 kW)	h	0,003200	0,24	4,11	
	82	E102	Rolo compactador tandem vibratório 10,2 t (82 kW)	h	0,007467	0,56	9,59	
	98	E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	h	0,003867	0,29	4,96	
		E107	Vassoura mecânica rebocável	h	0,003200	0,24	4,11	
	74	E149	Vibro-acabadora de asfalto (74 kW)	h	0,010800	0,81	13,87	
	210	E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	h	0,013333	1,00	17,12	
		1 A 01 390 52	Usinagem de CBUQ (capa de rolamento) AC/BC	t	1,000000	1,00	1.284,00	
Transporte		M101	Cimento asfáltico CAP 50/70		0,055000		70,62	
Transporte		M905	Filler		0,028000		35,95	
Transporte		1 A 00 716 00	Areia comercial		0,080000		102,72	
Transporte		1 A 00 717 00	Brita comercial		0,837000		1.074,71	
Transporte		1 A 01 390 52	Usinagem de CBUQ (capa de rolamento) AC/BC		1,000000		1.284,00	
2 S 02 241 01 Base de solo cimento c/ mistura em usina							121	4.922,00
		T511	Encarregado de pavimentação	h	0,008264	1,00	40,68	
		T701	Servente	h	0,024793	3,00	122,03	
	82	E102	Rolo compactador tandem vibratório 10,2 t (82 kW)	h	0,006033	0,73	29,69	
	98	E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	h	0,006198	0,75	30,51	
	103	E109	Distribuidor de agregados (103 kW)	h	0,007355	0,89	36,20	
	403	E138	Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	h	0,008182	0,99	40,27	
	210	E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	h	0,008264	1,00	40,68	
	210	E407	Caminhão tanque 10.000 l (210 kW)	h	0,002479	0,30	12,20	
		1 A 01 396 01	Usinagem de solo-cimento	t	1,000000	1,00	4.922,00	
Transporte		M202	Cimento portland CP II-32		0,176000		866,27	
Transporte		1 A 01 120 01	Escav. e carga de mater. de jazida(const e restr)		1,840000		9.056,48	
Transporte		1 A 01 396 01	Usinagem de solo-cimento		2,016000		9.922,75	
2 S 02 606 50 Concr. de cimento portl. com fôrma deslizante AC/BC							149	6.152,50
		T511	Encarregado de pavimentação	h	0,006711	1,00	41,29	
		T604	Pedreiro	h	0,026846	4,00	165,17	
		T701	Servente	h	0,093960	14,00	578,09	
	172	E330	Espalhadora de concreto (172 kW)	h	0,006711	1,00	41,29	
	172	E331	Acabadora de concreto forma deslizante (172 kW)	h	0,006711	1,00	41,29	
	57	E332	Texturizadora e lançadora (57 kW)	h	0,006711	1,00	41,29	
	26	E333	Serra de disco para concreto (26 kW)	h	0,013423	2,00	82,58	
	210	E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	h	0,018188	2,71	111,90	
	150	E422	Caminhão tanque 8.000 l (150 kW)	h	0,006711	1,00	41,29	
		M620	Protetor de cura de concreto	kg	0,005034	0,7500	30,97	
		M949	Disco diam. Serra asfalto SD8-034	und	0,000007	0,0010	0,04	
	1 A 01 580 03		Fornecimento, preparo e colocação formas apo CA 25	kg	1,000000	1,00	6.152,50	
	1 A 01 656 50		Usinagem p/ conc. de cim. portland c/ forma desliz AC/BC	m³	1,000000	1,00	6.152,50	
	1 A 02 702 00		Limpeza e enchim. junta pavimentada concr. (const e restr)	m	1,000000	0,83	5.564,94	
Transporte		1 A 00 716 00	Areia comercial		0,904500		6.866,19	
Transporte		1 A 00 717 00	Brita comercial		1,116000		14.766,00	
Transporte		1 A 01 656 50	Usinagem p/ conc. de cim. portland c/ forma desliz AC/BC		2,400000			

APÊNDICE E - QUANTITATIVOS PARA CONSTRUÇÃO DO PAVIMENTO NOVO								
Código	Potência (KW)	Cod. Insumo	Serviço	und	Coef.	Aux.	Tipo A Quant.	Tipo B Quant.
ATIVIDADES AUXILIARES								
1 A 01 100 01 Limpeza camada vegetal em jazida (const e restr.)				Produção	571	m²	3.235,68	3.445,40
		T501	Encarregado de turma	h	0,000876	0,50	2,83	3,02
		T701	Servente	h	0,003503	2,00	11,33	12,07
	108	E002	Trator de esteiras cilíndrica (108 kW)	h	0,001751	1,00	5,67	6,03
1 A 01 120 01 Escav. e carga de mater. de jazidas (const e restr)				Produção	165	m³	5.315,76	5.660,30
		T501	Encarregado de turma	h	0,006061	1,00	32,22	34,30
		T701	Servente	h	0,018182	3,00	96,65	102,91
	108	E002	Trator de esteiras cilíndrica (108 kW)	h	0,006061	1,00	32,22	34,30
	103	E006	Motoniveladora (103 kW)	h	0,004727	0,78	25,13	26,76
	147	E010	Carregadeira de pneus 3.30 m³ (147 kW)	h	0,004667	0,77	24,81	26,41
1 A 01 390 53 Usinagem de CBUQ (binder) AC/BC				Produção	75	t	2.311,20	-
		T501	Encarregado de turma	h	0,013333	1,00	30,82	-
		T701	Servente	h	0,106667	8,00	246,53	-
	147	E010	Carregadeira de pneus 3.30 m³ (147 kW)	h	0,003600	0,27	8,32	-
		E110	Tanque de estocagem de asfalto 30.000 l	h	0,013333	1,00	30,82	-
	12	E112	Aquecedor de fluido térmico (12 kW)	h	0,013333	1,00	30,82	-
	188	E147	Usina de asfalto a quente 90/120 t/h (188 kW)	h	0,013333	1,00	30,82	-
	32	E501	Grupo gerador 36/40 kVA (32 kW)	h	0,013333	1,00	30,82	-
	144	E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	h	0,013333	1,00	30,82	-
		M003	Óleo combustível 1 A	l	8,0000	8,0000	18,489,60	-
		M101	Cimento asfáltico CAP 50/70	t	0,0500	0,0500	115,56	-
	1 A 00 716 00		Areia comercial	m³	0,16100	0,16100	372,10	-
	1 A 00 717 00		Brita comercial	m³	0,47300	0,47300	1.093,20	-
1 A 01 390 52 Usinagem de CBUQ (capa de rolamento) AC/BC				Produção	75	t	1.284,00	-
		T501	Encarregado de turma	h	0,013333	1,00	17,12	-
		T701	Servente	h	0,106667	8,00	136,96	-
	147	E010	Carregadeira de pneus 3.30 m³ (147 kW)	h	0,003467	0,26	4,45	-
		E110	Tanque de estocagem de asfalto 30.000 l	h	0,013333	1,00	17,12	-
	12	E112	Aquecedor de fluido térmico (12 kW)	h	0,013333	1,00	17,12	-
	188	E147	Usina de asfalto a quente 90/120 t/h (188 kW)	h	0,013333	1,00	17,12	-
	32	E501	Grupo gerador 36/40 kVA (32 kW)	h	0,013333	1,00	17,12	-
	144	E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	h	0,013333	1,00	17,12	-
		M003	Óleo combustível 1 A	l	8,0000	8,0000	10,272,00	-
		M101	Cimento asfáltico CAP 50/70	t	0,0550	0,0550	70,62	-
		M905	Filler	kg	28,0000	28,0000	35,952,00	-
	1 A 00 716 00		Areia comercial	m³	0,05330	0,05330	68,44	-
	1 A 00 717 00		Brita comercial	m³	0,55800	0,55800	716,47	-
1 A 01 653 50 Usinagem p/ base de concreto rolado AC/BC				Produção	149	t	-	2.140,00
		T501	Encarregado de turma	h	0,006711	1,00	-	14,36
		T701	Servente	h	0,013423	2,00	-	28,72
	147	E010	Carregadeira de pneus 3.30 m³ (147 kW)	h	0,004362	0,65	-	9,34
	149	E335	Central de concreto 180 m³/h (149 kW)	h	0,006711	1,00	-	14,36
	230	E504	Grupo gerador 288 kVA (230 kW)	h	0,006711	1,00	-	14,36
		M202	Cimento Portland CP II-32	kg	120,0000	120,0000	-	256,800,00
	1 A 00 717 00		Brita comercial	m³	1,52000	1,52000	-	3.252,80

APÊNDICE E - QUANTITATIVOS PARA CONSTRUÇÃO DO PAVIMENTO NOVO								
Código	Potência (KW)	Cod. Insumo	Serviço	und	Coef.	Aux.	Tipo A Quant.	Tipo B Quant.
1 A 01 395 51 Usinagem de brita graduada BC tratada cimento							5.136,00	-
		T501	Encarregado de turma	h	0,008264	1,00	42,45	-
		T701	Servente	h	0,041322	5,00	212,23	-
147		E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	h	0,008099	0,98	41,60	-
99		E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	h	0,008264	1,00	42,45	-
144		E503	Grupo gerador 164/180 KVA (144 kW)	h	0,008264	1,00	42,45	-
		M202	Cimento portland CP II-32	kg	88,0000	88,0000	451.968,00	-
		1 A 00 717 00	Brita comercial	m³	1,41000	1,41000	7.241,76	-
* Os consumos de cimento e brita estão de acordo com a composição 6416042 Usinagem de brita graduada tratada com cimento e brita comercial em usina (SICRO);								
1 A 00 301 00 Fornecimento de Aço CA-25								20.705,00
		AM01	Aço ø = 4,2 mm CA 25	kg	0,3333	0,3333	6.900,98	-
		AM02	Aço ø = 6,3 mm CA 25	kg	0,3333	0,3333	6.900,98	-
		AM03	Aço ø = 10,0 mm CA 25	kg	0,3334	0,3334	6.903,05	-
1 A 00 302 00 Fornecimento de Aço CA-50								1.140,00
		AM04	Aço ø = 6,3 mm CA 50	kg	0,5000	0,5000	570,00	-
		AM05	Aço ø = 10,0 mm CA 50	kg	0,5000	0,5000	570,00	-
1 A 00 716 00 Areia Comercial							440,54	3.709,96
		M704	Areia lavada	m³	1,0000	1,0000	440,54	3.709,96
1 A 00 717 00 Brita Comercial							9.083,14	7.830,26
		AM35	Brita 1	kg	0,3333	0,3333	3.027,41	2.609,83
		AM36	Brita 2	kg	0,3333	0,3333	3.027,41	2.609,83
		AM37	Brita 3	kg	0,3334	0,3334	3.028,32	2.610,61
1 A 01 105 01 Expurgo de jazidas (const e restr)							924,48	984,40
		T501	Encarregado de turma	h	0,002830	0,30	2,79	2,79
		T701	Servente	h	0,018868	2,00	17,44	18,57
108		E002	Traior de esteiras cilíndrica (108 kW)	h	0,009434	1,00	8,72	9,29
1 A 01 396 01 Usinagem de solo-cimento							121	4.922,00
		T501	Encarregado de turma	h	0,008264	1,00	40,68	40,68
		T701	Servente	h	0,049587	6,00	244,07	244,07
147		E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	h	0,007603	0,92	37,42	37,42
99		E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	h	0,008264	1,00	40,68	40,68
144		E503	Grupo gerador 164/180 KVA (144 kW)	h	0,008264	1,00	40,68	40,68
		M202	Cimento portland CP II-32	kg	176,0000	176,0000	866.272,00	866.272,00
		1 A 01 100 01	Limpeza camada vegetal em jazida (const e restr.)	m²	0,70000	0,70000	3.445,40	3.445,40
		1 A 01 105 01	Expurgo de jazida (const e restr)	m³	0,20000	0,20000	984,40	984,40
		1 A 01 120 01	Escav. e carga de mater. de jazida(const e restr)	m³	1,15000	1,15000	5.660,30	5.660,30
1 A 01 580 03 Fornecimento, preparo e colocação formas aço CA 25								6.152,50
		T501	Encarregado de turma	h	0,020000	0,02	123,05	123,05
		T605	Armador	h	0,080000	0,08	492,20	492,20
		T701	Servente	h	0,140000	0,14	861,35	861,35
		M319	Atame recozido nº 18	kg	0,0100	0,0100	61,53	61,53
		1 A 00 301 00	Fornecimento de Aço CA-25	m²	1,10000	1,10000	6.767,75	6.767,75

APÊNDICE E - QUANTITATIVOS PARA CONSTRUÇÃO DO PAVIMENTO NOVO									
Código	Potência (KW)	Cod. Insumo	Serviço	und	Coef.	Aux.	Tipo A Quant.	Tipo B Quant.	
1 A 01 656 50 Usinagem p/ conc. cim. portl. c/ forma desliz AC/BC									
			Produção	149	m³	-	-	6.152,50	
		T501	Encarregado de turma	h	0,006711	1,00	-	41,29	
		T701	Servente	h	0,013423	2,00	-	82,58	
147		E010	Carregadeira de pneus 3.30 m³ (147 kW)	h	0,003624	0,54	-	22,30	
149		E335	Central de concreto 180 m³/h (149 kW)	h	0,006711	1,00	-	41,29	
230		E504	Grupo gerador 288 kVA (230 kW)	h	0,006711	1,00	-	41,29	
		M201	Cimento portland CP II-32 (a granel)	kg	380,0000	380,0000	-	2.337,950,00	
		M604	Aditivo plastimant BV-40	kg	1,2300	1,2300	-	7,567,58	
1 A 00 716 00			Areia comercial	m³	0,60300	0,60300	-	3.709,96	
1 A 00 717 00			Brita comercial	m³	0,74400	0,74400	-	4.577,46	
1 A 02 702 00 Limpeza e enchim. Junta pav. concr. (const e rest)									
			Produção	450	m	-	-	6.152,50	
		T511	Encarregado de pavimentação	h	0,002222	1,00	-	13,67	
		T701	Servente	h	0,013333	6,00	-	82,03	
147		E208	Compressor de ar 200 PCM (56 kW)	h	0,002222	1,00	-	13,67	
149		E334	Seladora de juntas (6 kW)	h	0,002222	1,00	-	13,67	
		E340	Jateadora de areia - pressurizada	h	0,002222	1,00	-	13,67	
230		E422	Caminhão tanque 8.000 l (150 kW)	h	0,001111	0,50	-	6,84	
		M623	Gás propano	kg	0,0300	0,0300	-	184,58	
		M976	Baquete limitador de polietileno	m	1,0000	1,0000	-	6.152,50	
		M977	Selante asfáltico polimerizado	l	0,4200	0,4200	-	2.584,05	
1 A 00 002 04 Transporte Local CBUQ c/ caçamba térmica									
			Produção	96	tkm	38.064,18	-	-	
130		E401	Caminhão carroceria - caminhão c/caçamba térmica (130 kW)	h	0,010417	1,00	396,50	-	
1 A 99 004 00			Mistura betuminosa usinada a quente	t	0,010417	1,00	396,50	-	
1 A 00 002 05 Transporte Local c/ basculante 10 m³ rodov. Pav. (const)									
			Produção	253	tkm	348.917,60	852.287,41	-	
210		E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	h	0,003953	1,00	1.379,12	3.368,72	
1 A 00 002 50 Transporte Local c/ betoneira rodov. Pav									
			Produção	173	tkm	-	259.231,90	-	
154		E427	Caminhão betoneira 5 m³ - 11,5 t (154 kW)	h	0,005780	1,00	-	1.498,45	

APÊNDICE F - RESUMOS DOS QUANTITATIVOS PARA CONSTRUÇÃO DO PAVIMENTO NOVO				
Cod. Insumo	Serviço	und	Tipo A Quant.	Tipo B Quant.
AM01	Aço ø = 4,2 mm CA 25	kg	-	6.901
AM02	Aço ø = 6,3 mm CA 25	kg	-	6.901
AM03	Aço ø = 10,0 mm CA 25	kg	-	6.903
AM04	Aço ø = 6,3 mm CA 50	kg	-	570
AM05	Aço ø = 10,0 mm CA 50	kg	-	570
AM35	Brita 1	kg	3.027	2.610
AM36	Brita 2	kg	3.027	2.610
AM37	Brita 3	kg	3.028	2.611
E002	Trator de esteiras c/lâmina (108 kW)	h	47	50
E006	Motoniveladora (103 kW)	h	54	34
E007	Trator agrícola (74 kW)	h	45	13
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	h	79	95
E013	Rolo compactador pé-de-carneiro 11,25 t (82 kW)	h	40	13
E101	Grade de discos - GA 24 x 24	h	21	7
E102	Rolo compactador tanden vibratório 10,2 t (82 kW)	h	58	41
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	h	86	50
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	h	42	41
E107	Vassoura mecânica rebocável	h	24	6
E109	Distribuidor de agregados (103 kW)	h	38	36
E110	Tanque de estocagem de asfalto 30.000 l	h	80	13
E111	Equipamento distribuidor de asfalto (175 kW)	h	25	6
E112	Aquecedor de fluido térmico (12 kW)	h	48	-
E138	Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	h	-	40
E147	Usina de asfalto a quente 90/120 t/h (188 kW)	h	48	-
E149	Vibro-acabadora de asfalto (74 kW)	h	39	-
E160	Fresadora e distribuidora de solo (243 kW)	h	-	5
E208	Compressor de ar 200 PCM (56 kW)	h	-	14
E330	Espalhadora de concreto (172 kW)	h	-	41
E331	Acabadora de concreto forma deslizante (172 kW)	h	-	41
E332	Texturizadora e lançadora (57 kW)	h	-	41
E333	Serra de disco para concreto (26 kW)	h	-	83
E334	Seladora de juntas (6 kW)	h	-	14
E335	Central de concreto 180 m³/h (149 kW)	h	-	56
E340	Jateadora de areia - pressurizado	h	-	14
E401	Caminhão carroceria - caminhão c/caçamba térmica (130 kW)	h	397	-
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	h	1.497	3.536
E407	Caminhão tanque 10.000 l (210 kW)	h	57	37
E422	Caminhão tanque 8.000 l (150 kW)	h	-	48
E427	Caminhão betoneira 5 m³ - 11,5 t (154 kW)	h	-	1.498
E501	Grupo gerador 36/40 kVA (32 kW)	h	48	-
E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	h	90	41
E504	Grupo gerador 288 kVA (230 kW)	h	-	56
M003	Óleo combustível 1 A	l	28.762	-
M101	Cimento asfáltico CAP 50/70	t	384	-
M103	Asfalto diluído CM-30	t	51	-
M104	Emulsão asfáltica RR-1C	t	9	9
M201	Cimento portland CP II-32 (a granel)	kg	-	2.337.950
M202	Cimento portland CP II-32	kg	451.968	1.123.938
M319	Arame recozido nº 18	kg	-	62
M604	Aditivo plastiment BV-40	kg	-	7.568
M620	Protetor de cura de concreto	kg	-	31
M623	Gás propano	kg	-	185
M704	Areia lavada	m³	441	3.710
M905	Filler	kg	35.988	-
M949	Disco diam. Serra asfalto SD8-034	und	-	-
M976	Baguete limitador de polietileno	m	-	6.153
M977	Selante asfáltico polimerizado	l	-	2.584

APÊNDICE G - QUANTITATIVOS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA CONSTRUÇÃO DO PAVIMENTO NOVO - (MATERIAIS)

Cod. Insumo	Serviço	Quant. Energia (MJ/t)		Quant. Material (t)		Quant. Energia (MJ)	
		Energia (MJ/t)	Quant.	Tipo A	Tipo B	Tipo A	Tipo B
AM01	Aço ø = 4,2 mm CA 25	25.310	-	-	7	-	174.664
AM02	Aço ø = 6,3 mm CA 25	25.310	-	-	7	-	174.664
AM03	Aço ø = 10,0 mm CA 25	25.310	-	-	7	-	174.715
AM04	Aço ø = 6,3 mm CA 50	25.310	-	-	1	-	14.427
AM05	Aço ø = 10,0 mm CA 50	25.310	-	-	1	-	14.427
AM35	Brita 1	96	7.265	-	6.264	697.421	601.344
AM36	Brita 2	96	7.265	-	6.264	697.421	601.344
AM37	Brita 3	96	7.267	-	6.266	697.651	601.574
M003	Óleo combustível 1 A	0,1	25	-	-	2	-
M101	Cimento asfáltico CAP 50/70	682	384	-	-	261.888	-
M103	Asfalto diluído CM-30	1.003.878	51	-	-	51.197.778	-
M104	Emulsão asfáltica RR-1C	1.003.878	9	-	9	9.034.902	9.034.902
M201	Cimento portland CP II-32 (a granel)	5.161	-	-	2.338	-	12.066.160
M202	Cimento portland CP II-32	5.161	452	-	1.124	2.332.607	5.800.644
M704	Areia lavada	96	662	-	5.565	63.504	534.240
M905	Filler	5.161	36	-	-	185.734	-
M976	Baguete limitador de polietileno	91.550	-	-	25	-	2.243.426
M977	Selante asfáltico polimerizado	50	-	-	6	-	309
		TOTAIS				6,52E+07	3,20E+07

APÊNDICE H - QUANTITATIVOS DE EMISSÕES PARA CONSTRUÇÃO DO PAVIMENTO NOVO - (MATERIAIS)

Cod. Insumo	Serviço	CO2	
		Tipo A	Tipo B
AM01	Aço ø = 4,2 mm CA 25		1,53E+07
AM02	Aço ø = 6,3 mm CA 25		1,53E+07
AM03	Aço ø = 10,0 mm CA 25		1,53E+07
AM04	Aço ø = 6,3 mm CA 50		1,26E+06
AM05	Aço ø = 10,0 mm CA 50		1,26E+06
AM35	Brita 1	1,09E+07	9,36E+06
AM36	Brita 2	1,09E+07	9,36E+06
AM37	Brita 3	1,09E+07	9,36E+06
M003	Óleo combustível 1 A	9,82E+01	
M101	Cimento asfáltico CAP 50/70	1,32E+07	
M103	Asfalto diluído CM-30	9,12E+06	
M104	Emulsão asfáltica RR-1C	2,79E+06	2,79E+06
M201	Cimento portland CP II-32 (a granel)	0,00E+00	1,88E+09
M202	Cimento portland CP II-32	3,64E+08	9,05E+08
M704	Areia lavada	9,88E+05	8,31E+06
M905	Filler	2,90E+07	0,00E+00
M976	Baguete limitador de polietileno		2,70E+07
M977	Selante asfáltico polimerizado		1,11E+06
TOTAL		4,52E+08	2,90E+09

APÊNDICE I - QUANTITATIVOS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA CONSTRUÇÃO DO PAVIMENTO NOVO - (EQUIPAMENTOS)						
Cod. Insumo	Serviço	Energia (kW/h)	Tipo A		Tipo B	
			Quant.(h)	Quant. Energia (MJ)	Quant.(h)	Quant. Energia (MJ)
E002	Trator de esteiras c/lâmina (108 kW)	108	47	18.274	50	19.440
E006	Motoniveladora (103 kW)	103	54	20.023	34	12.607
E007	Trator agrícola (74 kW)	74	45	11.988	13	3.463
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	147	79	41.807	95	50.274
E013	Rolo compactador pé-de-carneiro 11,25 t (82 kW)	82	40	11.808	13	3.838
E102	Rolo compactador tandem vibratório 10,2 t (82 kW)	82	58	17.122	41	12.103
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	98	86	30.341	50	17.640
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	99	42	14.969	41	14.612
E109	Distribuidor de agregados (103 kW)	103	38	14.090	36	13.349
E111	Equipamento distribuidor de asfalto (175 kW)	175	25	15.750	6	3.780
E112	Aquecedor de fluido térmico (12 kW)	12	48	2.074	-	-
E138	Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	403	-	-	40	58.032
E147	Usina de asfalto a quente 90/120 t/h (188 kW)	188	48	32.486	-	-
E149	Vibro-acabadora de asfalto (74 kW)	74	39	10.390	-	-
E160	Fresadora e distribuidora de solo (243 kW)	103	-	-	5	1.854
E208	Compressor de ar 200 PCM (56 kW)	147	-	-	14	7.409
E330	Espalhadora de concreto (172 kW)	172	-	-	41	25.387
E331	Acabadora de concreto forma deslizante (172 kW)	172	-	-	41	25.387
E332	Texturizadora e lançadora (57 kW)	57	-	-	41	8.413
E333	Serra de disco para concreto (26 kW)	26	-	-	83	7.769
E334	Seladora de juntas (6 kW)	149	-	-	14	7.510
E335	Central de concreto 180 m³/h (149 kW)	149	-	-	56	30.038
E401	Caminhão carroceria - caminhão c/çcaçamba térmica (130 kW)	130	-	-	-	-
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	210	-	-	-	-
E407	Caminhão tanque 10.000 l (210 kW)	191	57	39.193	37	25.441
E422	Caminhão tanque 8.000 l (150 kW)	150	-	-	48	25.920
E427	Caminhão betoneira 5 m³ - 11,5 t (154 kW)	154	-	-	-	-
E501	Grupo gerador 36/40 kVA (32 kW)	32	48	5.530	-	-
E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	144	90	46.656	41	21.254
E504	Grupo gerador 288 kVA (230 kW)	230	-	-	56	46.368
TOTALS				3,32E+05		4,42E+05

APÊNDICE J - QUANTITATIVOS DE EMISSÕES PARA CONSTRUÇÃO DO PAVIMENTO NOVO - (EQUIPAMENTOS)			
Cod. Insumo	Serviço	CO2	
		Tipo A	Tipo B
E002	Trator de esteiras c/lâmina (108 kW)	1.443.614	1.535.760
E006	Motoniveladora (103 kW)	1.581.833	995.969
E007	Trator agrícola (74 kW)	947.052	273.593
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	3.302.737	3.971.646
E013	Rolo compactador pé-de-carneiro 11,25 t (82 kW)	932.832	303.170
E102	Rolo compactador tandem vibratório 10,2 t (82 kW)	1.352.606	956.153
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	2.396.923	1.393.560
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	1.182.535	1.154.380
E109	Distribuidor de agregados (103 kW)	1.113.142	1.054.555
E111	Equipamento distribuidor de asfalto (175 kW)	1.244.250	298.620
E112	Aquecedor de fluido térmico (12 kW)	163.814	-
E138	Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	-	4.584.528
E147	Usina de asfalto a quente 90/120 t/h (188 kW)	2.566.426	-
E149	Vibro-acabadora de asfalto (74 kW)	820.778	-
E160	Fresadora e distribuidora de solo (243 kW)	-	146.466
E208	Compressor de ar 200 PCM (56 kW)	-	585.295
E330	Espalhadora de concreto (172 kW)	-	2.005.589
E331	Acabadora de concreto forma deslizante (172 kW)	-	2.005.589
E332	Texturizadora e lançadora (57 kW)	-	664.643
E333	Serra de disco para concreto (26 kW)	-	613.735
E334	Seladora de juntas (6 kW)	-	593.258
E335	Central de concreto 180 m³/h (149 kW)	-	2.373.034
E401	Caminhão carroceria - caminhão c/caçamba térmica (130 kW)	-	-
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	-	-
E407	Caminhão tanque 10.000 l (210 kW)	3.096.263	2.009.855
E422	Caminhão tanque 8.000 l (150 kW)	-	2.047.680
E427	Caminhão betoneira 5 m³ - 11,5 t (154 kW)	-	-
E501	Grupo gerador 36/40 kVA (32 kW)	436.838	-
E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	3.685.824	1.679.098
E504	Grupo gerador 288 kVA (230 kW)	-	3.663.072
TOTAIS		2,63E+07	3,49E+07

APÊNDICE K - QUANTITATIVOS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA CONSTRUÇÃO DO PAVIMENTO NOVO - (TRANSPORTE)						
Cod. Insumo	Serviço	Energia (kW/h)	Tipo A		Tipo B	
			Quant.(h)	Quant.(h)	Quant.(h)	Quant.(h)
			Quant. Energia (MJ)			
			Tipo A	Tipo B	Tipo A	Tipo B
E401	Caminhão carroceria - caminhão c/caçamba térmica (130 kW)	130	397	-	185.796	-
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	210	1.497	3.536	1.131.732	2.673.216
E427	Caminhão betoneira 5 m³ - 11,5 t (154 kW)	154	-	1.498	-	830.491
TOTAIS					1,32E+06	3,50E+06

APÊNDICE L - QUANTITATIVOS DE EMISSÕES PARA CONSTRUÇÃO DO PAVIMENTO NOVO - (EQUIPAMENTOS)			
Cod. Insumo	Serviço	CO2	
		Tipo A	Tipo B
E401	Caminhão carroceria - caminhão c/caçamba térmica (130 kW)	14.677.884	-
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	89.406.828	211.184.064
E427	Caminhão betoneira 5 m³ - 11,5 t (154 kW)	-	65.608.805
TOTAIS		1,04E+08	2,77E+08

APÊNDICE M - QUANTITATIVOS PARA CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO DO PAVIMENTO NOVO

Código	Potência (KW)	Cod. Insumo	Serviço (CONS. + REST.)	und	Coef.	Aux.	Quant. Tipo A	Quant. Tipo B
5 S 02 511 52 Micro-revest. a frio-Microflex 1,5cm BC								
			Encarregado de pavimentação	h	0,001667	1,00	12.840,00	
		T511	Encarregado de pavimentação	h	0,001667	1,00	21,40	
		T701	Trator agrícola (74 kW)	h	0,016667	10,00	214,00	
	74	E007	Trator agrícola (74 kW)	h	0,000317	0,19	4,07	
	113	E016	Carregadeira de pneus 1,72 m³ (113 kW)	h	0,000133	0,08	1,71	
	98	E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	h	0,001033	0,62	13,27	
		E107	Vassoura mecânica rebocável	h	0,000317	0,19	4,07	
		E110	Tanque de estocagem de asfalto 30.000 l	h	0,001667	1,00	21,40	
	336	E161	Equipamento distribuidor de lama asfáltica (336 kW)	h	0,001667	1,00	21,40	
	210	E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	h	0,001667	1,00	21,40	
	136	E406	Caminhão tanque 6.000 l (136 kW)	h	0,000500	0,30	6,42	
	136	E409	Caminhão carroceria fixa 9 t (136 kW)	h	0,000500	0,30	6,42	
		M110	Emulsão polimera para micro-revestimento à frio	t	0,000005	0,0029	0,06	
		M111	Adiflex	kg	0,000450	0,27	5,78	
		M112	Adisol	kg	0,000225	0,1350	2,89	
		1 A.00 717 00	Brita comercial	m³	0,000025	0,015	0,32	
Transporte			Emulsão polimera para micro-revestimento à frio		0,000005	0,0029	0,06	
Transporte			Brita comercial		0,000038	0,0225	0,48	
2 S 02 230 50 Base de brita graduada BC tratada com cimento (BGTC)				Produção	121	m³	82,18	
			Encarregado de pavimentação	h	0,008264	1,00	0,68	
		T511	Encarregado de pavimentação	h	0,008264	1,00	0,68	
		T701	Servente	h	0,024793	3,00	2,04	
	82	E102	Rolo compactador tandem vibratório 10,2 t (82 kW)	h	0,006033	0,73	0,50	
	98	E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	h	0,006198	0,75	0,51	
	103	E109	Distribuidor de agregados (103 kW)	h	0,007355	0,89	0,60	
	210	E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	h	0,008264	1,00	0,68	
	191	E407	Caminhão tanque 10.000 l (210 kW)	h	0,005785	0,70	0,48	
		1 A.01 395 51	Usinagem de brita graduada BC	m³	1,000000	1,00	82,18	
		1 A.01 395 51	Usinagem de brita graduada BC		2,400000		197,22	
Transporte								
2 S 02 300 00 Imprimação				Produção	1125	m²	26.386,00	
			Encarregado de pavimentação	h	0,000889	1,00	23,45	
		T511	Encarregado de pavimentação	h	0,000889	1,00	23,45	
		T701	Servente	h	0,002667	3,00	70,36	
	74	E007	Trator agrícola (74 kW)	h	0,000293	0,33	7,74	
		E107	Vassoura mecânica rebocável	h	0,000293	0,33	7,74	
		E110	Tanque de estocagem de asfalto 30.000 l	h	0,000889	1,00	23,45	
	175	E111	Equipamento distribuidor de asfalto (175 kW)	h	0,000889	1,00	23,45	
		M103	Asfalto diluído CM-30	t	0,001200	0,0012	31,66	
		M103	Asfalto diluído CM-30	t	0,001200	0,0012	31,66	

APÊNDICE M - QUANTITATIVOS PARA CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO DO PAVIMENTO NOVO

Código	Potência (KW)	Cod. Insumo	Serviço (CONS. + REST.)	und	Coef.	Aux.	Tipo A Quant.	Tipo B Quant.
2 S 02 400 00	Pintura de ligação			Produção	1687	m²	13.193,00	10.700,00
		T511	Encarregado de pavimentação	h	0,000593	1,00	7,82	6,34
		T701	Servente	h	0,001778	3,00	23,46	19,03
	74	E007	Trator agrícola (74 kW)	h	0,000593	1,00	7,82	6,34
		E107	Vassoura mecânica rebocável	h	0,000593	1,00	7,82	6,34
		E110	Tanque de estocagem de asfalto 30.000 l	h	0,001186	2,00	15,64	12,69
	175	E111	Equipamento distribuidor de asfalto (175 kW)	h	0,000593	1,00	7,82	6,34
		M104	Emulsão asfáltica RR-1C	t	0,000400	0,0004	5,28	4,28
		M104	Emulsão asfáltica RR-1C	t	0,000400	0,0004	5,28	4,28
2 S 02 540 52	CBUQ - capa "binder" AC/BC			Produção	75	t	76,27	
		T511	Encarregado de pavimentação	h	0,013333	1,00	1,02	
		T701	Servente	h	0,106667	8,00	8,14	
	74	E007	Trator agrícola (74 kW)	h	0,003200	0,24	0,24	
	82	E102	Rolo compactador tandem vibratório 10,2 t (82 kW)	h	0,007467	0,56	0,57	
	98	E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	h	0,007733	0,58	0,59	
		E107	Vassoura mecânica rebocável	h	0,003200	0,24	0,24	
	74	E149	Vibro-acabadora de asfalto (74 kW)	h	0,010800	0,81	0,82	
	210	E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	h	0,013333	1,00	1,02	
		1 A 01 390 53	Usinagem de CBUQ (binder) AC/BC	t	1,000000	1,00	76,27	
Transporte		M101	Cimento asfáltico CAP 50/70		0,055000		4,19	
Transporte		1 A 00 716 00	Areia comercial		0,242000		18,46	
Transporte		1 A 00 717 00	Brita comercial		0,709500		54,11	
Transporte		1 A 01 390 53	Usinagem de CBUQ (binder) AC/BC		1,000000		76,27	
2 S 02 540 51	CBUQ - capa rolamento AC/BC			Produção	75	t	966,85	
		T511	Encarregado de pavimentação	h	0,013333	1,00	12,89	
		T701	Servente	h	0,106667	8,00	103,13	
	74	E007	Trator agrícola (74 kW)	h	0,003200	0,24	3,09	
	82	E102	Rolo compactador tandem vibratório 10,2 t (82 kW)	h	0,007467	0,56	7,22	
	98	E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	h	0,003867	0,29	3,74	
		E107	Vassoura mecânica rebocável	h	0,003200	0,24	3,09	
	74	E149	Vibro-acabadora de asfalto (74 kW)	h	0,010800	0,81	10,44	
	210	E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	h	0,013333	1,00	12,89	
		1 A 01 390 52	Usinagem de CBUQ (capa de rolamento) AC/BC	t	1,000000	1,00	966,85	
Transporte		M101	Cimento asfáltico CAP 50/70		0,055000		53,18	
Transporte		M905	Filler		0,028000		27,07	
Transporte		1 A 00 716 00	Areia comercial		0,080000		77,35	
Transporte		1 A 00 717 00	Brita comercial		0,837000		809,26	
Transporte		1 A 01 390 52	Usinagem de CBUQ (capa de rolamento) AC/BC		1,000000		966,85	

APÊNDICE M - QUANTITATIVOS PARA CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO DO PAVIMENTO NOVO

Código	Potência (KW)	Cod. Insumo	Serviço (CONS. + REST.)	und	Coef.	Aux.	Tipo A Quant.	Tipo B Quant.
5 S 02 990 11 Fresagem continua do revest. Betuminoso								
				Produção			1,438,08	
			Encarregado de turma	h	0,050000	1,00	71,90	
			Servente	h	0,400000	8,00	575,23	
	340	T701	Fresadora a fio (340 kW)	h	0,050000	1,00	71,90	
	45	E156	Carrageadeira de pneus c/vassoura 1,52 m (45 kW)	h	0,025000	0,50	35,95	
	191	E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	h	0,050000	1,00	71,90	
	130	E406	Caminhão tanque 6.000 l (136 kW)	h	0,012000	0,24	17,26	
		M349	Dente para fresadora W-1900	kg	0,044000	0,88	63,28	
		M350	Porta dente para fresadora W-1900	kg	0,002575	0,0515	3,70	
		M378	Apoio do porta dente da fresadora W-1900	und	0,000425	0,0085	0,61	
Transporte			Material fresado	und	0,120000	2,40	172,57	
3 S 02 601 50 Recomposição de placa de concreto AC/BC								
				Produção			442,98	
			Encarregado de pavimentação	h	0,232558	1,00	103,02	
		T604	Pedreiro	h	0,232558	1,00	103,02	
		T701	Servente	h	2,325581	10,00	1.030,19	
	56	E208	Compressor de ar 200 PCM (56 kW)	h	0,139535	0,60	61,81	
		E209	Martelete - rompedor 28 kg	h	0,139535	0,60	61,81	
	2	E306	Vibrador de concreto - imersão (2 kW)	h	0,069767	0,30	30,91	
	10	E343	Betoneira - 580 l (10 kW)	h	0,232558	1,00	103,02	
	130	E400	Caminhão basculante 5 m³ - 8,8 t (136 kW)	h	0,232558	1,00	103,02	
	3	E914	Placa vibratória com motor (3 kW)	h	0,069767	0,30	30,91	
		M202	Cimento portland CP II-32	kg	80,232558	345,0000	35.541,42	
	1 A 00 716 00		Areia comercial	m³	0,116279	0,50	51,51	
	1 A 00 717 00		Brita comercial	m³	0,162791	0,70	72,11	
Transporte			Areia comercial	m³	0,174419	0,75	77,26	
Transporte			Brita comercial	m³	0,244186	1,05	108,17	
2 S 02 606 50 Concr. de cimento portl. com forma deslizante AC/BC								
				Produção			246,10	
			Encarregado de pavimentação	h	0,006711	1,00	1,65	
		T604	Pedreiro	h	0,026846	4,00	6,61	
		T701	Servente	h	0,093960	14,00	23,12	
	172	E330	Espalhadora de concreto (172 kW)	h	0,006711	1,00	1,65	
	172	E331	Acabadora de concreto forma deslizante (172 kW)	h	0,006711	1,00	1,65	
	57	E332	Texturizadora e lançadora (57 kW)	h	0,006711	1,00	1,65	
	26	E333	Serra de disco para concreto (26 kW)	h	0,013423	2,00	3,30	
	210	E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	h	0,018188	2,71	4,48	
	150	E422	Caminhão tanque 8.000 l (150 kW)	h	0,006711	1,00	1,65	
		M620	Protetor de cura de concreto	kg	0,005034	0,7500	1,24	
		M949	Disco diam. Serra asfalto SD8-034	und	0,000007	0,0010	0,00	
	1 A 01 580 03		Fornecimento, preparo e colocação formas aço CA 25	kg	1,000000	1,00	246,10	
	1 A 01 656 50		Usinagem p/ conc. de cim. portland c/ forma desliz AC/BC	m³	1,000000	1,00	246,10	
	1 A 02 702 00		Limpeza e enchim. junta pavimentada concr.(const e rest)	m	1,000000	0,83	246,10	
Transporte			Areia comercial		0,904500		222,60	
Transporte			Brita comercial		1,116000		274,65	
Transporte			Usinagem p/ conc. de cim. portland c/ forma desliz AC/BC		2,400000		590,64	

APÊNDICE M - QUANTITATIVOS PARA CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO DO PAVIMENTO NOVO

Código	Potência (KW)	Cod. Insumo	Serviço (CONS. + REST.)	und	Coef.	Aux.	Tipo A Quant.	Tipo B Quant.
ATIVIDADES AUXILIARES								
1 A 01 390 53 Usinagem de CBUQ (binder) AC/BC				75	t	76,27	-	-
T501			Encarregado de turma	h	0,013333	1,00	1,02	-
T701			Servente	h	0,106667	8,00	8,14	-
E010	147		Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	h	0,003600	0,27	0,27	-
E110			Tanque de estocagem de asfalto 30.000 l	h	0,013333	1,00	1,02	-
E112	12		Aquecedor de fluido térmico (12 kW)	h	0,013333	1,00	1,02	-
E147	188		Usina de asfalto a quente 90/120 t/h (188 kW)	h	0,013333	1,00	1,02	-
E501	32		Grupo gerador 36/40 KVA (32 kW)	h	0,013333	1,00	1,02	-
E503	144		Grupo gerador 164/180 KVA (144 kW)	h	0,013333	1,00	1,02	-
M003			Óleo combustível 1 A	l	8,0000	8,0000	610,16	-
M101			Cimento asfáltico CAP 50/70	t	0,0500	0,0500	3,81	-
1 A 00 716 00			Areia comercial	m³	0,16100	0,16100	12,28	-
1 A 00 717 00			Brita comercial	m³	0,47300	0,47300	36,08	-
1 A 01 390 52 Usinagem de CBUQ (capa de rolamento) AC/BC				75	t	966,85	-	-
T501			Encarregado de turma	h	0,013333	1,00	12,89	-
T701			Servente	h	0,106667	8,00	103,13	-
E010	147		Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	h	0,003467	0,26	3,35	-
E110			Tanque de estocagem de asfalto 30.000 l	h	0,013333	1,00	12,89	-
E112	12		Aquecedor de fluido térmico (12 kW)	h	0,013333	1,00	12,89	-
E147	188		Usina de asfalto a quente 90/120 t/h (188 kW)	h	0,013333	1,00	12,89	-
E501	32		Grupo gerador 36/40 KVA (32 kW)	h	0,013333	1,00	12,89	-
E503	144		Grupo gerador 164/180 KVA (144 kW)	h	0,013333	1,00	12,89	-
M003			Óleo combustível 1 A	l	8,0000	8,0000	7.734,82	-
M101			Cimento asfáltico CAP 50/70	t	0,0550	0,0550	53,18	-
M905			Filler	kg	28,0000	28,0000	27.071,86	-
1 A 00 716 00			Areia comercial	m³	0,05330	0,05330	51,53	-
1 A 00 717 00			Brita comercial	m³	0,55800	0,55800	539,50	-
1 A 01 395 51 Usinagem de brita graduada BC tratada cimento				121	t	82,18	-	-
T501			Encarregado de turma	h	0,008264	1,00	0,68	-
T701			Servente	h	0,041322	5,00	3,40	-
E010	147		Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	h	0,008099	0,98	0,67	-
E106	99		Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	h	0,008264	1,00	0,68	-
E503	144		Grupo gerador 164/180 KVA (144 kW)	h	0,008264	1,00	0,68	-
M202			Cimento portland CP II-32	kg	88,0000	88,0000	7.231,49	-
1 A 00 717 00			Brita comercial	m³	1,41000	1,41000	115,87	-
* Os consumos de cimento e brita estão de acordo com a composição 64-16042 Usinagem de brita graduada tratada com cimento e brita comercial em usina (SICRO);								
1 A 00 301 00 Fornecimento de Aço CA-25				1	kg	828,20	-	-
AM01			Aço ø = 4,2 mm CA 25	kg	0,3333	0,3333	276,04	-
AM02			Aço ø = 6,3 mm CA 25	kg	0,3333	0,3333	276,04	-
AM03			Aço ø = 10,0 mm CA 25	kg	0,3334	0,3334	276,12	-

APÊNDICE M - QUANTITATIVOS PARA CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO DO PAVIMENTO NOVO

Código	Potência (KW)	Cod. Insumo	Serviço (CONS. + REST.)	und	Coef.	Aux.	Tipo A Quant.	Tipo B Quant.
1 A 00 302 00 Fornecimento de Aço CA-50								
		AM04	Aço ø = 6,3 mm CA 50	kg	0,5000	0,5000	-	45,60
		AM05	Aço ø = 10,0 mm CA 50	kg	0,5000	0,5000	-	22,80
1 A 00 716 00 Areia Comercial								
		M704	Areia lavada	m³	1,0000	1,0000	159,62	199,91
1 A 00 717 00 Brita Comercial								
		AM35	Brita 1	kg	0,3333	0,3333	1.555,14	255,21
		AM36	Brita 2	kg	0,3333	0,3333	518,33	85,06
		AM37	Brita 3	kg	0,3334	0,3334	518,48	85,09
1 A 01 580 03 Fornecimento, preparo e colocação formas aço CA 25								
		T501	Encarregado de turma	h	0,020000	0,02	-	4,92
		T605	Armador	h	0,080000	0,08	-	19,69
		T701	Servente	h	0,140000	0,14	-	34,45
		M319	Arame recozido nº 18	kg	0,0100	0,0100	-	2,46
		1 A 00 301 00	Fornecimento de Aço CA-25	m²	1,10000	1,10000	-	270,71
1 A 01 656 50 Usinagem p/ conc. cim. portl. c/ forma desliz AC/BC								
		T501	Encarregado de turma	h	0,006711	1,00	-	1,65
		T701	Servente	h	0,013423	2,00	-	3,30
147		E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	h	0,003624	0,54	-	0,89
149		E335	Central de concreto 180 m³/h (149 kW)	h	0,006711	1,00	-	1,65
230		E504	Grupo gerador 288 kVA (230 kW)	h	0,006711	1,00	-	1,65
		M201	Cimento portland CP II-32 (a granel)	kg	380,0000	380,0000	-	93.518,00
		M604	Aditivo plastiment BV-40	kg	1,2300	1,2300	-	302,70
		1 A 00 716 00	Areia comercial	m³	0,60300	0,60300	-	148,40
		1 A 00 717 00	Brita comercial	m³	0,74400	0,74400	-	183,10
1 A 02 702 00 Limpeza e enchim. Junta pav. concr.(const e rest)								
		T511	Encarregado de pavimentação	h	0,002222	1,00	-	0,55
		T701	Servente	h	0,013333	6,00	-	3,28
147		E208	Compressor de ar 200 PCM (66 kW)	h	0,002222	1,00	-	0,55
149		E334	Seladora de juntas (6 kW)	h	0,002222	1,00	-	0,55
		E340	Jateadora de areia - pressurizado	h	0,002222	1,00	-	0,55
230		E422	Caminhão tanque 8.000 l (150 kW)	h	0,001111	0,50	-	0,27
		M623	Gás propano	kg	0,0300	0,0300	-	7,38
		M976	Baguete limitador de polietileno	m	1,0000	1,0000	-	246,10
		M977	Selante asfáltico polimerizado	l	0,4200	0,4200	-	103,36

APÊNDICE M - QUANTITATIVOS PARA CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO DO PAVIMENTO NOVO									
Código	Potência (KW)	Cod. Insumo	Serviço (CONS. + REST.)	und	Coef.	Aux.	Tipo A Quant.	Tipo B Quant.	
1 A 00 002 04	Transporte Local CBUQ c/ caçamba térmica			Produção	96	tkm	11.340,66		
130	E401		Caminhão carroceria - caminhão c/caçamba térmica (130 kW)	h	0,010417	1,00	118,13		
1 A 99 004 00			Mistura betuminosa usinada a quente	t	0,010417	1,00	118,13		
1 A 00 002 05	Transporte Local c/ basculante 10 m³ rodov. Pav. (const)			Produção	253	tkm	40.303,75		31.010,67
210	E404		Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	h	0,003953	1,00	159,30		122,57
1 A 00 002 50	Transporte Local c/ betoneira rodov. Pav			Produção	173	tkm			6.201,72
154	E427		Caminhão betoneira 5 m³ - 11,5 t (154 kW)	h	0,005780	1,00			35,85

APÊNDICE N - RESUMOS DOS QUANTITATIVOS PARA (CONS. + REST.) DO PAVIMENTO NOVO				
Cod. Insumo	Serviço (CONS. + REST.)	und	Tipo A	Tipo B
			Quant.	Quant.
AM01	Aço ø = 4,2 mm CA 25	kg	-	276
AM02	Aço ø = 6,3 mm CA 25	kg	-	276
AM03	Aço ø = 10,0 mm CA 25	kg	-	276
AM04	Aço ø = 6,3 mm CA 50	kg	-	23
AM05	Aço ø = 10,0 mm CA 50	kg	-	23
AM35	Brita 1	kg	518	85
AM36	Brita 2	kg	518	85
AM37	Brita 3	kg	518	85
E002	Trator de esteiras c/lâmina (108 kW)	h	-	-
E006	Motoniveladora (103 kW)	h	-	-
E007	Trator agrícola (74 kW)	h	23	6
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	h	4	1
E013	Rolo compactador pé-de-carneiro 11,25 t (82 kW)	h	-	-
E016	Carregadeira de pneus 1,72 m³ (113 kW)	h	2	-
E101	Grade de discos - GA 24 x 24	h	-	-
E102	Rolo compactador tanden vibratório 10,2 t (82 kW)	h	8	-
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	h	18	-
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	h	1	-
E107	Vassoura mecânica rebocável	h	23	6
E109	Distribuidor de agregados (103 kW)	h	1	-
E110	Tanque de estocagem de asfalto 30.000 l	h	74	13
E111	Equipamento distribuidor de asfalto (175 kW)	h	31	6
E112	Aquecedor de fluido térmico (12 kW)	h	14	-
E127	Fresadora a frio (340 kW)	h	72	-
E138	Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	h	-	-
E147	Usina de asfalto a quente 90/120 t/h (188 kW)	h	14	-
E149	Vibro-acabadora de asfalto (74 kW)	h	11	-
E156	Carregadeira de pneus c/vassoura 1,52 m (45 kW)	h	36	-
E160	Fresadora e distribuidora de solo (243 kW)	h	-	-
E161	Equipamento distribuidor de lama asfáltica (336 kW)	h	21	-
E208	Compressor de ar 200 PCM (56 kW)	h	-	62
E209	Martelete - rompedor 28 kg	h	-	62
E306	Vibrador de concreto - imersão (2 kW)	h	-	31
E330	Espalhadora de concreto (172 kW)	h	-	2
E331	Acabadora de concreto forma deslizante (172 kW)	h	-	2
E332	Texturizadora e lançadora (57 kW)	h	-	2
E333	Serra de disco para concreto (26 kW)	h	-	3
E334	Seladora de juntas (6 kW)	h	-	1
E335	Central de concreto 180 m³/h (149 kW)	h	-	2
E340	Jateadora de areia - pressurizado	h	-	1
E343	Betoneira - 580 l (10 kW)	h	-	103
E400	Caminhão basculante 5 m³ - 8,8 t (136 kW)	h	-	103
E401	Caminhão carroceria - caminhão c/caçamba térmica (130 kW)	h	118	-
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	h	267	127
E406	Caminhão tanque 6.000 l (136 kW)	h	24	-
E407	Caminhão tanque 10.000 l (210 kW)	h	-	-
E409	Caminhão carroceria fixa 9 t (136 kW)	h	6	-
E422	Caminhão tanque 8.000 l (150 kW)	h	-	2
E427	Caminhão betoneira 5 m³ - 11,5 t (154 kW)	h	-	36
E501	Grupo gerador 36/40 kVA (32 kW)	h	14	-
E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	h	15	-
E504	Grupo gerador 288 kVA (230 kW)	h	-	2
E914	Placa vibratória com motor (3 kW)	h	-	31
M003	Óleo combustível 1 A	l	8.345	-
M101	Cimento asfáltico CAP 50/70	t	114	-
M103	Asfalto diluído CM-30	t	63	-
M104	Emulsão asfáltica RR-1C	t	11	9
M110	Emulsão polímera para micro-revestimento à frio	t	-	-
M111	Adiflex	kg	6	-
M112	Adisol	kg	3	-
M201	Cimento portland CP II-32 (a granel)	kg	-	93.518
M202	Cimento portland CP II-32	kg	7.231	35.541
M319	Arame recozido nº 18	kg	-	2
M349	Dente para fresadora W-1900	kg	63	-
M350	Porta dente para fresadora W-1900	kg	4	-
M378	Apoio do porta dente da fresadora W-1900	und	1	-
M604	Aditivo plastiment BV-40	kg	-	303
M620	Protetor de cura de concreto	kg	-	1
M623	Gás propano	kg	-	7
M704	Areia lavada	m³	160	200
M905	Filler	kg	27.099	-
M949	Disco diam. Serra asfalto SD8-034	und	-	-
M976	Baguete limitador de polietileno	m	-	246
M977	Selante asfáltico polimerizado	l	-	103

APÊNDICE O - QUANTITATIVOS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA (CONS. + REST.) DO PAVIMENTO NOVO - (MATERIAIS)						
Cod. Insumo	Serviço (CONS. + REST.)	Quant.	Quant. Material (t)		Quant. Energia (MJ)	
		Energia (MJ/t)	Tipo A	Tipo B	Tipo A	Tipo B
AM01	Aço ø = 4,2 mm CA 25	25.310	-	0,28	-	6.986
AM02	Aço ø = 6,3 mm CA 25	25.310	-	0,28	-	6.986
AM03	Aço ø = 10,0 mm CA 25	25.310	-	0,28	-	6.986
AM04	Aço ø = 6,3 mm CA 50	25.310	-	0,02	-	582
AM05	Aço ø = 10,0 mm CA 50	25.310	-	0,02	-	582
AM35	Brita 1	96	1.243	204	119.347	19.584
AM36	Brita 2	96	1.243	204	119.347	19.584
AM37	Brita 3	96	1.243	204	119.347	19.584
M003	Óleo combustível 1 A	0	7	-	1	-
M101	Cimento asfáltico CAP 50/70	682	114	-	77.748	-
M103	Asfalto diluído CM-30	1.003.878	63	-	63.244.314	-
M104	Emulsão asfáltica RR-1C	1.003.878	11	9	11.042.658	9.034.902
M201	Cimento portland CP II-32 (a granel)	5.161	-	94	-	482.646
M202	Cimento portland CP II-32	5.161	7	36	37.319	183.427
M704	Areia lavada	96	240	300	23.040	28.800
M905	Filler	5.161	27	-	139.858	-
M976	Baguete limitador de polietileno	91.550	-	1	-	89.693
M977	Selante asfáltico polimerizado	50	-	0	-	12
			TOTAIS		7,49E+07	9,90E+06

APÊNDICE P - QUANTITATIVOS DE EMISSÕES PARA (CONS. + REST.) DO PAVIMENTO NOVO - (MATERIAIS)			
Cod. Insumo	Serviço (CONS. + REST.)	CO2	
		Tipo A	Tipo B
AM01	Aço ø = 4,2 mm CA 25		6,11E+05
AM02	Aço ø = 6,3 mm CA 25		6,11E+05
AM03	Aço ø = 10,0 mm CA 25		6,11E+05
AM04	Aço ø = 6,3 mm CA 50		5,09E+04
AM05	Aço ø = 10,0 mm CA 50		5,09E+04
AM35	Brita 1	1,86E+06	3,05E+05
AM36	Brita 2	1,86E+06	3,05E+05
AM37	Brita 3	1,86E+06	3,05E+05
M003	Óleo combustível 1 A	2,85E+01	
M101	Cimento asfáltico CAP 50/70	3,92E+06	
M103	Asfalto diluído CM-30	1,13E+07	
M104	Emulsão asfáltica RR-1C	3,41E+06	2,79E+06
M201	Cimento portland CP II-32 (a granel)	0,00E+00	7,53E+07
M202	Cimento portland CP II-32	5,82E+06	2,86E+07
M704	Areia lavada	3,58E+05	4,48E+05
M905	Filler	2,18E+07	0,00E+00
M976	Baguete limitador de polietileno		1,08E+06
M977	Selante asfáltico polimerizado		4,42E+04
TOTAL		5,22E+07	1,11E+08

APÊNDICE Q - QUANTITATIVOS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA (CONS. + REST.) DO PAVIMENTO NOVO - (EQUIPAMENTOS)

Cod. Insumo	Serviço (CONS. + REST.)	Energia (kW/h)	Tipo A	Tipo B	Quant. Energia (MJ)	
			Quant.(h)	Quant.(h)	Tipo A	Tipo B
E002	Trator de esteiras c/lâmina (108 kW)	108	-	-	-	-
E006	Motoniveladora (103 kW)	103	-	-	-	-
E007	Trator agrícola (74 kW)	74	23	6	6.127	1.598
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	147	4	1	2.117	529
E013	Rolo compactador pé-de-carneiro 11,25 t (82 kW)	82	-	-	-	-
E102	Rolo compactador tandem vibratório 10,2 t (82 kW)	82	8	-	2.362	-
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	98	18	-	6.350	-
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	99	1	-	356	-
E109	Distribuidor de agregados (103 kW)	103	1	-	371	-
E111	Equipamento distribuidor de asfalto (175 kW)	175	31	6	19.530	3.780
E112	Aquecedor de fluido térmico (12 kW)	12	14	-	605	-
E138	Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	403	-	-	-	-
E147	Usina de asfalto a quente 90/120 t/h (188 kW)	188	14	-	9.475	-
E149	Vibro-acabadora de asfalto (74 kW)	74	11	-	2.930	-
E160	Fresadora e distribuidora de solo (243 kW)	103	-	-	-	-
E208	Compressor de ar 200 PCM (56 kW)	147	-	62	-	32.810
E330	Espalhadora de concreto (172 kW)	172	-	2	-	1.238
E331	Acabadora de concreto forma deslizante (172 kW)	172	-	2	-	1.238
E332	Texturizadora e lançadora (57 kW)	57	-	2	-	410
E333	Serra de disco para concreto (26 kW)	26	-	3	-	281
E334	Seladora de juntas (6 kW)	149	-	1	-	536
E335	Central de concreto 180 m³/h (149 kW)	149	-	2	-	1.073
E401	Caminhão carroceria - caminhão c/caçamba térmica (130 kW)	130	-	-	-	-
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	210	-	-	-	-
E407	Caminhão tanque 10.000 l (210 kW)	191	-	-	-	-
E422	Caminhão tanque 8.000 l (150 kW)	150	-	2	-	1.080
E427	Caminhão betoneira 5 m³ - 11,5 t (154 kW)	154	-	-	-	-
E501	Grupo gerador 36/40 kVA (32 kW)	32	14	-	1.613	-
E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	144	15	-	7.776	-
E016	Carregadeira de pneus 1,72 m³ (113 kW)	113	2	-	814	-
E127	Fresadora a frio (340 kW)	340	72	-	88.128	-
E156	Carregadeira de pneus c/vassoura 1,52 m (45 kW)	45	36	-	5.832	-
E161	Equipamento distribuidor de lama asfáltica (336 kW)	336	21	-	25.402	-
E306	Vibrador de concreto - imersão (2 kW)	2	-	31	-	223
E400	Caminhão basculante 5 m³ - 8,8 t (136 kW)	136	-	103	-	50.429
E406	Caminhão tanque 6.000 l (136 kW)	136	24	-	11.750	-
E409	Caminhão carroceria fixa 9 t (136 kW)	136	6	-	2.938	-
E504	Grupo gerador 288 kVA (230 kW)	230	-	2	-	1.656
TOTAIS					1,94,E+05	9,69,E+04

APÊNDICE R - QUANTITATIVOS DE EMISSÕES PARA (CONS. + REST.) DO PAVIMENTO NOVO - (EQUIPAMENTOS)			
Cod. Insumo	Serviço (CONS. + REST.)	CO2	
		Tipo A	Tipo B
E002	Trator de esteiras c/lâmina (108 kW)	-	-
E006	Motoniveladora (103 kW)	-	-
E007	Trator agrícola (74 kW)	484.049	126.274
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	167.227	41.807
E013	Rolo compactador pé-de-carneiro 11,25 t (82 kW)	-	-
E102	Rolo compactador tanden vibratório 10,2 t (82 kW)	186.566	-
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 kW)	501.682	-
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 kW)	28.156	-
E109	Distribuidor de agregados (103 kW)	29.293	-
E111	Equipamento distribuidor de asfalto (175 kW)	1.542.870	298.620
E112	Aquecedor de fluido térmico (12 kW)	47.779	-
E138	Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	-	-
E147	Usina de asfalto a quente 90/120 t/h (188 kW)	748.541	-
E149	Vibro-acabadora de asfalto (74 kW)	231.502	-
E160	Fresadora e distribuidora de solo (243 kW)	-	-
E208	Compressor de ar 200 PCM (56 kW)	-	2.592.022
E330	Espalhadora de concreto (172 kW)	-	97.834
E331	Acabadora de concreto forma deslizante (172 kW)	-	97.834
E332	Texturizadora e lançadora (57 kW)	-	32.422
E333	Serra de disco para concreto (26 kW)	-	22.183
E334	Seladora de juntas (6 kW)	-	42.376
E335	Central de concreto 180 m³/h (149 kW)	-	84.751
E401	Caminhão carroceria - caminhão c/caçamba térmica (130 kW)	-	-
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	-	-
E407	Caminhão tanque 10.000 l (210 kW)	-	-
E422	Caminhão tanque 8.000 l (150 kW)	-	85.320
E427	Caminhão betoneira 5 m³ - 11,5 t (154 kW)	-	-
E501	Grupo gerador 36/40 kVA (32 kW)	127.411	-
E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	614.304	-
E016	Carregadeira de pneus 1,72 m³ (113 kW)	64.274	-
E127	Fresadora a frio (340 kW)	6.962.112	-
E156	Carregadeira de pneus c/vassoura 1,52 m (45 kW)	460.728	-
E161	Equipamento distribuidor de lama asfáltica (336 kW)	2.006.726	-
E306	Vibrador de concreto - imersão (2 kW)	-	17.633
E400	Caminhão basculante 5 m³ - 8,8 t (136 kW)	-	3.983.875
E406	Caminhão tanque 6.000 l (136 kW)	928.282	-
E409	Caminhão carroceria fixa 9 t (136 kW)	232.070	-
E504	Grupo gerador 288 kVA (230 kW)	-	130.824
TOTAIS		1,54,E+07	7,65,E+06

APÊNDICE S - QUANTITATIVOS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA (CONS. + REST.) DO PAVIMENTO NOVO - (TRANSPORTE)						
Cod. Insumo	Serviço (CONS. + REST.)	Energia	Tipo A	Tipo B	Quant. Energia (MJ)	
		(kW/h)	Quant.(h)	Quant.(h)	Tipo A	Tipo B
E401	Caminhão carroceria - caminhão c/caçamba térmica (130 kW)	130	118	-	55.224	-
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	210	267	127	201.852	96.012
E427	Caminhão betoneira 5 m³ - 11,5 t (154 kW)	154	-	36	-	19.958
TOTAIS					2,57,E+05	1,16,E+05

APÊNDICE T - QUANTITATIVOS DE EMISSÕES PARA (CONS. + REST.) DO PAVIMENTO NOVO - (EQUIPAMENTOS)			
Cod. Insumo	Serviço (CONS. + REST.)	CO2	
		Tipo A	Tipo B
E401	Caminhão carroceria - caminhão c/caçamba térmica (130 kW)	4.362.696	-
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210 kW)	15.946.308	7.584.948
E427	Caminhão betoneira 5 m³ - 11,5 t (154 kW)	-	1.576.714
TOTAIS		2,03,E+07	9,16,E+06

APÊNDICE U - DADOS ENERGIA E EMISSÕES UTILIZADOS		
EMISSÕES CO2 - MATERIAIS		
Cod. Insumo	Serviço	Quant. Emissões CO2 (g)
M003	Óleo combustível 1 A	4,00E+00
M101	Cimento asfáltico CAP 50/70	3,44E+04
	CAP - Pol.	3,44E+04
M103	Asfalto diluído CM-30	1,79E+05
M104	Emulsão asfáltica RR-1C	1,79E+05
M201	Cimento portland CP II-32 (a granel)	8,05E+05
M704	Areia lavada	1,49E+03
M905	Filler	8,06E+05
M976	Baguete limitador de polietileno	1,10E+06
M977	Selante asfáltico polimerizado	1,79E+05
AM01	Aço ø = 4,2 mm CA 25	2,21E+06
AM03	Aço ø = 10,0 mm CA 25	2,20E+06
AM35	Brita 1	1,49E+03

EMISSÕES CO2 - EQUIPAMENTOS		
Cod. Insumo	Serviço	Quant. Emissões CO2 (g/MJ)
	Equipamentos disel	79,00

ENERGIA PRIMÁRIA MATERIAIS		
Cod. Insumo	Serviço	Quant. Energia (MJ/t)
AM01	Aço ø = 4,2 mm CA 25	25.310
AM02	Aço ø = 6,3 mm CA 25	25.310
AM03	Aço ø = 10,0 mm CA 25	25.310
AM04	Aço ø = 6,3 mm CA 50	25.310
AM05	Aço ø = 10,0 mm CA 50	25.310
AM35	Brita 1	96
AM36	Brita 2	96
AM37	Brita 3	96
M003	Óleo combustível 1 A	0,1
M101	Cimento asfáltico CAP 50/70	682
M103	Asfalto diluído CM-30	1.003.878
M104	Emulsão asfáltica RR-1C	1.003.878
M201	Cimento portland CP II-32 (a granel)	5.161
M202	Cimento portland CP II-32	5.161
M704	Areia lavada	96
M905	Filler	5.161
M976	Baguete limitador de polietileno	91.550
M977	Selante asfáltico polimerizado	50

ENERGIA PRIMÁRIA EQUIPAMENTOS		
Cod. Insumo	Serviço	Energia (kW/h)
E002	Trator de esteiras c/lâmina (108 kW)	108
E006	Motoniveladora (103 kW)	103
E007	Trator agrícola (74 kW)	74
E010	Carregadeira de pneus 3,30 m³ (147 kW)	147
E013	Rolo compactador pé-de-carneiro 11,25	82
E102	Rolo compactador tandem vibratório 10,2	82
E105	Rolo compactador de pneus 25,0 t (98 k	98
E106	Usina misturadora de solos 300 t/h (99 t	99
E109	Distribuidor de agregados (103 kW)	103
E111	Equipamento distribuidor de asfalto (175	175
E112	Aquecedor de fluido térmico (12 kW)	12
E138	Estabilizador/Recicladora a frio (403 kW)	403
E147	Usina de asfalto a quente 90/120 t/h (18	188
E149	Vibro-acabadora de asfalto (74 kW)	74
E160	Fresadora e distribuidora de solo (243 k	103
E208	Compressor de ar 200 PCM (56 kW)	147
E330	Espalhadora de concreto (172 kW)	172
E331	Acabadora de concreto forma deslizante	172
E332	Texturizadora e lançadora (57 kW)	57
E333	Serra de disco para concreto (26 kW)	26
E334	Seladora de juntas (6 kW)	149
E335	Central de concreto 180 m³/h (149 kW)	149
E401	Caminhão carroceria - caminhão c/caça	130
E404	Caminhão basculante 10 m³ - 15,0 t (210	210
E407	Caminhão tanque 10.000 l (210 kW)	191
E422	Caminhão tanque 8.000 l (150 kW)	150
E427	Caminhão betoneira 5 m³ - 11,5 t (154 k	154
E501	Grupo gerador 36/40 kVA (32 kW)	32
E503	Grupo gerador 164/180 kVA (144 kW)	144
E504	Grupo gerador 288 kVA (230 kW)	230