



## ESTUDO COMPARATIVO ENTRE TIPOS DE PAVIMENTAÇÃO POR MEIO DE ANÁLISE MULTICRITERIAL COMPARATIVE STUDY BETWEEN TYPES OF PAVEMENT BY MULTI-CRITERIA ANALYSIS

LOPES, André Teixeira<sup>1</sup>; ALVAREZ, Vitor Alvarenga<sup>2</sup>;  
Prof. Me. Heitor Berger Campos – Universidade São Francisco  
[tlopes93@live.com](mailto:tlopes93@live.com); [alvarezvitor@icloud.com](mailto:alvarezvitor@icloud.com)

**RESUMO.** A presente pesquisa tem por objetivo evidenciar as principais diferenças entre pavimentação rígida, a base de cimento Portland e pavimentação flexível, a base de betume asfáltico, tendo em vista que a malha rodoviária cresce a cada ano e tem se tornado fundamental para o transporte de insumos. O pavimento rígido é mais eficaz em relação a desempenho e durabilidade, o que é de grande importância nas conexões de regiões, já que com as vantagens citadas os usuários têm viagens mais seguras e mais confortáveis não havendo obras de manutenção na via. Os pavimentos flexíveis têm uma metodologia de execução que demanda menos tempo e com custos iniciais menores ao serem comparados. O artigo faz uma análise completa das vantagens e desvantagens de cada pavimento, métodos de execução, estrutura, manutenção etc., e, por meio das ferramentas CP (Programação por compromisso), menor distância do melhor, e CGT (Teoria dos jogos comparativos), maior distância do pior, ferramentas de multicritério que comparam quesitos por meio de notas avaliadas em uma função determinada, indicar qual é a opção de pavimentação mais adequada.

**Palavras-chave:** Pavimento, flexível, rígido, análises, estrutura.

**ABSTRACT.** This research aims to highlight the main differences between rigid pavement, which is based of Portland cement and flexible pavement, asphalt bitumen based, considering that the road network grows every year and has become extremely important for the transportation of inputs. Rigid pavement is more effective in terms of performance and durability, which is of great importance in the region connections, as with the advantages mentioned, users have safer and more comfortable trips and there are no maintenance works on the road. Flexible pavements have an execution methodology that demands less time and with lower initial costs when compared to one another. The article makes a complete analysis of the advantages and disadvantages of each pavement, methods of execution, structure, maintenance, etc., and through the mathematical tools, CP (Compromise Programming), which can be shortly discribed as a method to measure the shortest distance from the best possible option, and CGT (Cooparative Game Theory) , which can also be shortly discribed as a method to measure the longest distance from the worst possible option, multicriteria/mathematical tools such as CP and CGT can compare different subjects on each pavement to indicate the option that is most suitable.

**Keywords:** Pavement., flexible, rigid, analysis, structure.

### INTRODUÇÃO

#### *Contexto histórico e definição de estruturas*

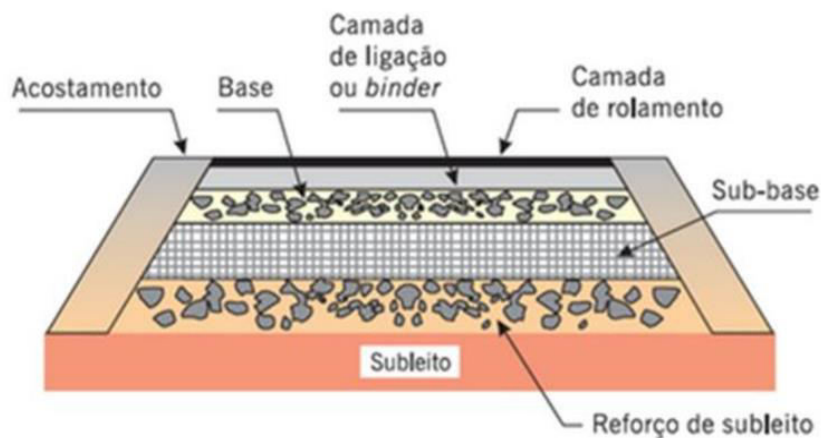
As estradas tornaram-se o principal meio de ligação entre as sociedades contemporâneas. Com a demanda crescente por relações entre povos, a tecnologia chegou às

vias com a finalidade de melhorias nos âmbitos econômicos e sociais. Os pioneiros em pavimentação rígida foram os ingleses, que deram início em 1865. Já nos Estados Unidos da América, a primeira pavimentação rígida aconteceu em 1891, em Bellefontaine, no estado de Ohio.

Estima-se que o pavimento asfáltico que começou a ser usado em estradas por volta do ano 3.000 A.C., quando eram retirados de lagos pastosos de piche. O primeiro documento que ratifica o uso de asfalto em pavimentação é dos anos entre 625 e 604 A.C. com relatos da Babilônia.

Para SOUZA (1980), Pavimento é uma estrutura construída após a terraplanagem por meio de camadas de vários materiais de diferentes características de resistência e deformabilidade. Esta estrutura assim constituída apresenta um elevado grau de complexidade no que se refere ao cálculo das tensões e deformações. Partindo dessa premissa, a engenharia subdivide os tipos de pavimentação em dois. Conforme sua rigidez: temos as pavimentações rígidas e as pavimentações flexíveis (MARQUES, 2006)<sup>1</sup>.

Os pavimentos flexíveis são pavimentos que têm sua camada superficial composta por asfalto ou material betuminoso e suas camadas posteriores, bases e sub-bases compostas por materiais granulares como ilustra a figura 1. As tensões solicitantes são divididas proporcionalmente em todas as camadas. A solicitação se distribui de maneira vertical, com tensões de compressão se dispersando no subleito absorvendo as tensões de cisalhamento. Esse processo de repetição de cargas é chamado de processo de fadiga e pode gerar patologias no revestimento (LAURINDO et al., 2017)<sup>2</sup>.



**Figura 1** – Estrutura do pavimento Flexível.  
Fonte - LAURINDO et al., 2017.

Existem dois tipos de mistura do asfalto, o pré-misturado a frio e o pré-misturado a quente.

<sup>1</sup> MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira. **Departamento de Transportes e Geotecnia TRN 032 – Pavimentação**. 2006. 01p. Notas de Aula da Disciplina. Universidade Federal de Juiz de Fora Faculdade de Engenharia. Disponível em: < <http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2009/03/Notas-de-Aula-Prof.-Geraldo.pdf>>. Acesso em 18 de nov. 2019.

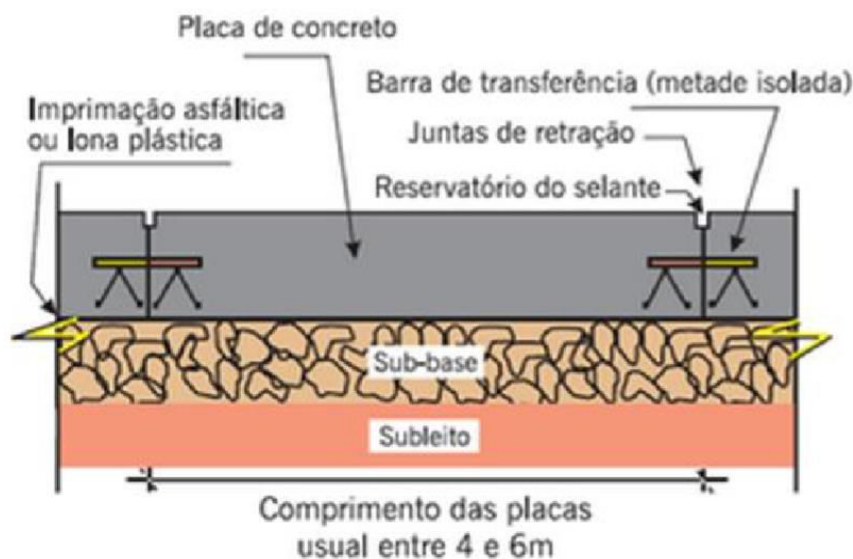
<sup>2</sup> ANDRADE, Laurindo; VIEIRA, Leonan; CARNEIRO, Mozart. **Estudo e Análise Comparativa entre Pavimentação Rígida E Flexível**. Disponível em: < [https://servicos.unitoledo.br/repositorio/bitstream/7574/212/1/Andrade\\_Barros\\_Neto\\_2017.pdf](https://servicos.unitoledo.br/repositorio/bitstream/7574/212/1/Andrade_Barros_Neto_2017.pdf)>. Acesso em 02 de nov. 2019.

O pré-misturado a frio é uma mistura realizada a temperatura ambiente, regulada pela DNER – ES 317/97 que é composta por seus agregados, filler e emulsão asfáltica. Agregados podem ser compostos por pedra, seixo de brita, areia, pó de pedra etc. O filler é constituído por minerais finos como cimento Portland, pó de calcário etc. A camada de asfalto costuma ser aplicada sete dias após o término e a preparação da base a ser pavimentada (LAURINDO et al., 2017)<sup>3</sup>.

O pré-misturado a quente é o revestimento mais utilizados nas rodovias brasileiras, composto pelo CBUQ, é aplicado a altas temperaturas. A mistura é feita em local apropriado, geralmente usinas, que são compostas por ligantes asfálticos, agregados e o material de enchimento, filler (DNIT, 2006, apud LAURINDO et al., 2017).<sup>4</sup>

O pavimento rígido é formado por camadas de cimento Portland como exemplifica a figura 2, que é composto por agregados, aditivos, selante de juntas, cimento, a estrutura pode ser armada ou não, e é mais rígido que as demais camadas, absorvendo as tensões sobre sua camada (DNIT, 2004, apud LAURINDO et al., 2017).

Depois de feito, o concreto precisa suportar no mínimo 4,5 Mpa de resistência à tração na flexão e 30 Mpa na compressão axial, assim como suportar pelo menos 20 anos de vida útil sem a apresentação de patologias (DNIT, 2004, apud LAURINDO et al., 2017).



**Figura 2** – Estrutura do pavimento Rígido.

Fonte - LAURINDO et al., 2017.

Os cimentos utilizados podem ser do CP-1 ao CP-5 e os agregados seguem especificações diferentes dos utilizados na edificação, respeitando a NBR 07217/87 (LAURINDO et al., 2017).

A DNIT 037/2004 explica que a água utilizada deve estar totalmente limpa de impurezas. A NBR 11768/92 indica o como fazer o uso correto de aditivos na mistura (LAURINDO et al., 2017).

<sup>3</sup> ANDRADE, Laurindo; VIEIRA, Leonan; CARNEIRO, Mozart. **Estudo e Análise Comparativa entre Pavimentação Rígida E Flexível. Disponível em:** <  
[https://servicos.unitoledo.br/repositorio/bitstream/7574/212/1/Andrade\\_Barros\\_Neto\\_2017.pdf](https://servicos.unitoledo.br/repositorio/bitstream/7574/212/1/Andrade_Barros_Neto_2017.pdf)>. Acesso em 02 de nov. 2019.

<sup>4</sup>

As barras utilizadas nas armaduras do concreto, quando utilizadas, devem ser as CA-25, CA-50, CA-60, obedecendo normas da DNIT 049/203 – ES. O pavimento rígido deve ter alta trabalhabilidade, alto Módulo de Elasticidade e alta rigidez, segundo a NBR 12655/2006. A selagem das juntas também requer muita atenção, segundo a DNIT (2004), podem ser feitas em borrachas ou em fibras (LAURINDO, 2017).

### *Comparativo de custos*

Os pavimentos são dimensionados para terem uma vida útil pré-estabelecida, mas com o tempo, a capacidade estrutural se modifica devido a fatores externos, como a falta de drenagem e o excesso de carga, acelerando assim sua deterioração (JOHNSTON, 200, apud. FILHO; ROCHA, 2015)<sup>5</sup>.

Segundo a DNIT (2017), a execução em pavimento asfáltico (flexível), em uma pista com faixa simples, com dimensão de largura de 3,6 m, com acostamento de 2,5 m, com a camada superficial realizada em CAUQ ou em CBUQ, com espessura da camada de cobrimento de 10 cm, incluindo o acostamento, acaba-se tendo um custo final de aproximadamente R\$ 3.159.000,00 por quilômetro (FILHO; ROCHA, 2015).

CAUQ e CBUQ são denominados, respectivamente, de Concreto Betuminoso Usinado a Quente e Concreto Asfáltico Usinado a Quente (FILHO; ROCHA, 2015).

Quando se trata da pavimentação em concreto Portland (rígido) em uma pista com faixa simples, com dimensão de largura de 3,6 m, com acostamento de 2,5 m, com a camada superficial realizada em PCS, com a espessura da camada da pista principal de aproximadamente 18cm e camada do acostamento de aproximadamente 10 cm, temos um custo médio por quilometro de aproximadamente R\$ 5.430.000,00 (DNIT, 2017, apud. FILHO; ROCHA, 2015).

PCS é denominado Pavimento de Concreto Simples (FILHO; ROCHA, 2015).

O custo para a execução de rodovias com camadas de cobrimento em PCS acaba saindo aproximadamente 42% mais caro do que a execução de rodovias com camada de cobrimento em CAUQ ou em CBUQ (FILHO; ROCHA, 2015).

Fazendo outro comparativo, agora, na execução de uma pista simples, com dimensão de 7,0 m de largura, levando em consideração a execução da estrutura em relação ao VDMc (Volume Diário Médio de Veículos comerciais), de acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), nós temos os seguintes custos relativos apresentados na tabela 1 e no gráfico 1 (FILHO; ROCHA, 2015).

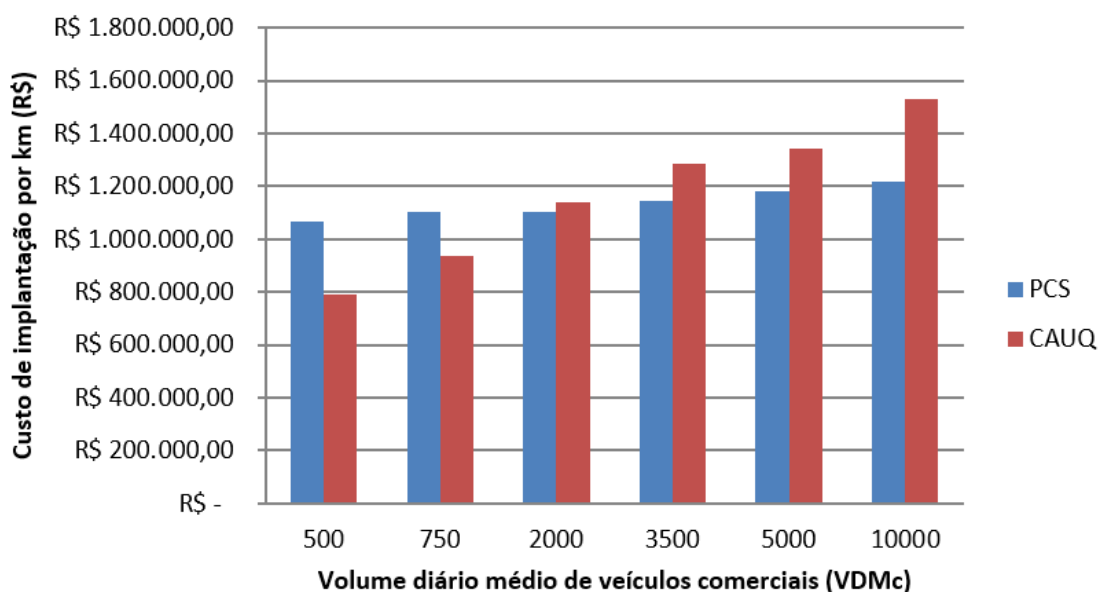
**Tabela 1** – Custos de Pavimentação por km

---

<sup>5</sup> FILHO, José; ROCHA, Eider. **Estudo Comparativo entre Pavimentos Flexível e Rígido na Pavimentação Rodoviária**. Núcleo do Conhecimento, 2018. Disponível em: <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/pavimentos-flexivel>>. Acesso em 13 out. 2019.

VDMc	PCS	CBUQ
500	R\$ 1.066.000,40	R\$ 791.484,50
750	R\$ 1.104.463,30	R\$ 938.06,27
2000	R\$ 1.104.463,30	R\$ 1.138.449,29
3500	R\$ 1.142.926,20	R\$ 1.285.548,61
5000	R\$ 1.181.389,10	R\$ 1.341.571,64
10000	R\$ 1.219.852,00	R\$ 1.532.054,61

Fonte - FILHO; ROCHA, 2015.



**Gráfico 1** – Custos de Execução de Pavimentação por km.

Fonte - FILHO; ROCHA, 2015.

Levando em consideração os dados apresentados na tabela e no gráfico que foram apresentados, chega-se a conclusão de que em situações onde o VDMc é de 500 a 750 veículos, a pavimentação flexível tem um melhor custo/benefício, já onde o índice de VDMc é superior a 2000, o custo/benefício da pavimentação rígida acaba se sobressaindo 1 (FILHO; ROCHA, 2015)<sup>6</sup>.

Segundo a DNIT (2017), tomando o referenciamento da planilha de custos gerenciais, o pavimento flexível tem uma durabilidade de 10 anos o que torna necessária uma manutenção regular na via de ano em ano além de sua restauração que normalmente costuma ser a cada 5 anos, custando por quilometro, respectivamente R\$ 51.800,00 e R\$ 1.200.000,001 (FILHO; ROCHA, 2015).

Em relação ao pavimento rígido segundo a DNIT, a planilha de custos gerenciais não cita manutenção regular rotineira, porém, segundo Hallack (2008), a manutenção para pavimentação rígida é feita a cada 10 e anos e acaba tendo um custo de 4% do valor da execução 1 (FILHO; ROCHA, 2015).

<sup>6</sup> FILHO, José; ROCHA, Eider. **Estudo Comparativo entre Pavimentos Flexível e Rígido na Pavimentação Rodoviária**. Núcleo do Conhecimento, 2018. Disponível em: <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/pavimentos-flexivel>>. Acesso em 13 out. 2019.

## *Sustentabilidade*

A pavimentação flexível é mais econômica e ecológica quando colocada lado a lado com a pavimentação rígida, pois permite o uso de métodos e técnicas que priorizam a reciclagem de materiais de pavimentos que já existem juntamente com a combinação de novos materiais, como o asfalto de borracha de pneus inservíveis, asfalto de polímero, todos esses fatores geram um impacto ambiental de menor proporção (RIBAS, 2017, apud. FILHO; ROCHA, 2015).

O concreto utilizado na pavimentação de estradas pode consumir até quatro vezes menos que energia elétrica do que a pavimentação convencional, a flexível em sua produção. Além de tudo, por possuir uma superfície mais clara que a superfície da pavimentação asfáltica, a pavimentação em concreto permite uma diminuição da iluminação pública o que automaticamente reduz a temperatura ambiente, o que diminui os gastos com ar condicionado (CARVALHO, 2007, apud. FILHO; ROCHA, 2015)<sup>7</sup>.

Alguns estudos realizados pela Portland Cement Association, afirmam que há uma redução significativa, na utilização de combustíveis de veículos de cargas e veículos pesados em rodovias de pavimentos rígidos quando comparados a pavimentos flexíveis, tudo isso é proporcionado pela superfície rígida que não deforma e estável, o que cria uma menor resistência ao rolamento dos veículos além de exigir um menor esforço mecânico (SILVA FILHO, 2011, apud. FILHO; ROCHA, 2015)<sup>8</sup>.

O asfalto, por si só, gera impactos ao meio ambiente e ao homem em relação à sua composição física e química. Dá-se ênfase a isso no processo produtivo do asfalto, com usinas tornando-se fontes poluidoras, contaminando solos, as águas tanto subterrâneas quanto superficiais e gerando compactação e adensamento de solo (COELHO et al, 2011; ARAÚJO et al, 2016).

Os impactos ambientais são relacionados ao dimensionamento da pavimentação. Relaciona-se ao tempo de vida útil do pavimento, que costuma ser por volta de 20 anos. O ciclo de vida útil do pavimento asfáltico se resume em cinco fases, são elas: extração, produção, construção, manutenção, utilização e fim da vida. (COELHO et al, 2011; ARAÚJO et al, 2016).

A produção de cimento Portland também afeta o meio ambiente. O processo de produção não gera resíduos sólidos de forma direta, porém tem alta emissão de poluentes gasosos e materiais particulados. Há uma elevada produção de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na queima das fornalhas de produção de cimento. Estima-se que as cimenteiras sejam responsáveis por aproximadamente 5% da emissão global de CO<sub>2</sub>. O ciclo de vida do cimento Portland se resume a: extração de calcário, transporte, processo industrial, uso do cimento e reciclagem (AMDA, 2011)<sup>9</sup>.

---

<sup>7</sup> FILHO, José; ROCHA, Eider. **Estudo Comparativo entre Pavimentos Flexível e Rígido na Pavimentação Rodoviária**. Núcleo do Conhecimento, 2018. Disponível em: <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/pavimentos-flexivel>>. Acesso em 13 out. 2019.

<sup>8</sup> ARAÚJO, Ana; SENA, Mylena; FARIAS, Nayana; SALGUEIRO, Thais; ALENCAR, Viviane; PINTO, Francisco. **O Asfalto e os Impactos Ambientais. Recando das Letras**. 2016. Disponível em: <<https://www.recantodasletras.com.br/artigos-de-ciencia-e-tecnologia/5508530>>. Acesso em 23 ago. 2019.

<sup>9</sup> AMDA. **Ciclo de Vida do Cimento**. Disponível em: <<https://www.amda.org.br/index.php/comunicacao/ciclo-de-vida/2767-ciclo-de-vida-do-cimento>>. Acesso em 23 jul. 2019.

A reciclagem do asfalto é feita em três tipos, a frio, quente e a in situ. A reciclagem in situ é realizada próximo à via, enquanto as outras duas são feitas em usinas utilizando processos com e sem aquecimento (FRAGMAQ, 2017)<sup>10</sup>.

O método mais utilizado é o método in situ. Essa técnica é realizada por meio de uma máquina específica para o processo, chamada recicladora de asfalto e sua função é recortar, triturar e homogeneizar, para formar uma nova massa asfáltica (FRAGMAQ, 2017)

Outra opção é o asfalto ecológico, que usa a combinação de pó de pneus e ligantes asfaltos. Esse processo garante a reciclagem de pneus (FRAGMAQ, 2017).

Para a reciclagem de concreto ele passa primeiro pelo processo de quebra inicial, onde os pedaços de concreto ficam em entre 75 a 120cm. Tudo isso deve estar livre de lixos, madeira, vidro etc. Depois, todo esse material passa por um processo de trituração. Com o material todo triturado e moído, ele pode ser agregado a nova composição de concretos. (PENSAMENTO VERDE, 2014)<sup>11</sup>.

### *Patologias*

Pavimentos flexíveis: Patologias podem ser de duas classes, estrutural e funcional. As patologias estruturais estão ligadas à redução de capacidade de carga do pavimento. Patologias funcionais estão ligadas às condições de segurança e trafegabilidade do pavimento (DNIT, 2006, apud. SIMPLÍCIO, 2014)<sup>12</sup>.

Patologias superficiais são patologias funcionais e podem ser vistas a olho nu (SIMPLÍCIO, 2014).

Fendas, afundamentos, corrugações e ondulações transversais, panelas ou buracos são patologias consideradas para calcular a qualidade da superfície segundo a norma brasileira (IGG – Índice de Gravidade Global) (BERNUCCI, 2008, apud. SIMPLÍCIO, 2014).

Pavimentos rígidos: As patologias geralmente ocorrem por uso de técnica e materiais não adequados, assim como a falta de manutenção. É mais comum que ocorra patologias localizadas, com relação a problemas específicos do que patologias relacionadas a desgastes de trechos da pavimentação em função de falhas de projeto ou problemas no concreto (DNIT, 2004, apud. SIMPLÍCIO, 2014)

A seguir serão apresentadas tabelas referentes às patologias da pavimentação rígida e flexível e suas prováveis causas.

### **Tabela 2 - Patologias e prováveis causas no pavimento flexível**

<sup>10</sup> FRAGMAQ. **Entenda Como Acontece a Reciclagem de Pavimento Asfáltico. 2017.** Disponível em: <https://www.fragmaq.com.br/blog/entenda-como-acontece-reciclagem-de-pavimento-asfaltico/>. Acesso em 23 jul. 2019.

<sup>11</sup> PENSAMENTO VERDE. **Você Sabe Como é Realizada a Reciclagem do Concreto?** Disponível em: <https://www.pensamentoverde.com.br/reciclagem/voce-sabe-como-e-realizada-reciclagem-concreto/>. Acesso em 21 ago. 2019.

<sup>12</sup> SIMPLÍCIO, Tadeu. **Estudo Comparativo entre Pavimento Rígido e Flexível.** Universidade Federal do Piauí, Centro de Tecnologia. 2014. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/346922075/TCC-Tadeu-Simplicio-de-Rose-ndo-Junior>. Acesso em 05 ago. 2019.

Defeito		Descrição	Prováveis causas
Trincas isoladas	Longitudinais	Apresenta direção predominante paralela ao eixo da via.	Junta de construção mal executada. Contração / dilatação do revestimento. Propagação de trincas de camadas subjacentes.
	Transversais	Apresenta direção predominante ortogonal ao eixo da via.	Contração / dilatação do revestimento. Propagação de trincas de camadas subjacentes.
Trincas interligadas	Jacaré / crocodilo	Assemelhando-se ao couro de jacaré ou crocodilo.	Ação repetida das cargas de tráfego.
	Bloco	Configuração próxima a um retângulo, podendo os blocos apresentar vários tamanhos.	Variações térmicas. União de trincas transversais e longitudinais.
Afundamento	Plástico	Apresenta além da depressão na região das trilhas de rodas um sollevamento lateral.	Ruptura das camadas do pavimento pela ação do tráfego.
	Consolidação	Caracteriza-se por uma depressão do revestimento na região das trilhas de roda.	Compactação insuficiente das camadas. Mistura asfáltica com baixa estabilidade. Infiltração de água nas camadas.
Ondulação/ corrugação		Caracteriza-se por ondulações ou corrugações transversais na superfície do pavimento de caráter plástico e permanente	Instabilidade da mistura betuminosa ou base. Excesso de umidade das camadas. Materiais estranhos na mistura. Retenção da água na mistura.
Deterioração de remendos		Região do pavimento onde ocorreu substituição do material original.	Tráfego intenso. Uso de materiais de má qualidade. Condições ambientais agressivas. Problemas construtivos.
Painéis		Cavidade que se forma num primeiro estágio no revestimento apresentando dimensões variadas.	Trinca por fadiga. Desgaste de alta severidade.

Fonte - SIMPLÍCIO, 2014.

**Tabela 3** - Patologias e suas prováveis causas no pavimento rígido



Defeito		Descrição	Prováveis causas
Trincas isoladas	Longitudinais	Apresenta direção predominante paralela ao eixo da via.	Junta de construção mal executada. Contração / dilatação do revestimento. Propagação de trincas de camadas subjacentes.
	Transversais	Apresenta direção predominante ortogonal ao eixo da via.	Contração / dilatação do revestimento. Propagação de trincas de camadas subjacentes.
Trincas interligadas	Jacaré / crocodilo	Assemelhando-se ao couro de jacaré ou crocodilo.	Ação repetida das cargas de tráfego.
	Bloco	Configuração próxima a um retângulo, podendo os blocos apresentar vários tamanhos.	Variações térmicas. União de trincas transversais e longitudinais.
Afundamento	Plástico	Apresenta além da depressão na região das trilhas de rodas um solevamento lateral.	Ruptura das camadas do pavimento pela ação do tráfego.
	Consolidação	Caracteriza-se por uma depressão do revestimento na região das trilhas de roda.	Compactação insuficiente das camadas. Mistura asfáltica com baixa estabilidade. Infiltração de água nas camadas.
Ondulação/ corrugação		Caracteriza-se por ondulações ou corrugações transversais na superfície do pavimento de caráter plástico e permanente	Instabilidade da mistura betuminosa ou base. Excesso de umidade das camadas. Materiais estranhos na mistura. Retenção da água na mistura.
Deterioração de remendos		Região do pavimento onde ocorreu substituição do material original.	Tráfego intenso. Uso de materiais de má qualidade. Condições ambientais agressivas. Problemas construtivos.
Painéis		Cavidade que se forma num primeiro estágio no revestimento apresentando dimensões variadas.	Trinca por fadiga. Desgaste de alta severidade.

Fonte - SIMPLÍCIO, 2014<sup>13</sup>.

### Manutenção

A estrutura da pavimentação flexível é mais complexa devido a interação entre as camadas quando comparada à estrutura do pavimento de concreto simples, porém, a metodologia construtiva do pavimento de concreto simples é mais complexa do que a do pavimento flexível (NETO, 2011, apud MEZZOMO, 2014)<sup>14</sup>.

Todo e qualquer pavimento se delimita pelo seu tipo de fundação. A camada de maior relevância para qualquer tipo de pavimento é a camada do subleito. O pavimento rígido, por dispersar as forças solicitantes de maneira homogênea, dispensa muitas vezes o reforço de subleito que é muito utilizado em pavimentos flexíveis (NETO, 2011, apud MEZZOMO, 2014).

O pavimento em concreto simples tem uma estrutura mais organizada no que se diz respeito a qualidade de material e metodologia de implantação, o que reflete em um maior custo inicial a depende do projeto e das situações que serão adequadas ao pavimento. Pavimento rígido é mais adequado em solos que possuem baixas resistências (NETO, 2011, apud MEZZOMO, 2014).

<sup>13</sup> SIMPLÍCIO, Tadeu. **Estudo Comparativo entre Pavimento Rígido e Flexível**. Universidade Federal do Piauí, Centro de Tecnologia. 2014. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/346922075/TCC-Tadeu-Simplicio-de-Rose-ndo-Junior>>. Acesso em 05 ago. 2019.

<sup>14</sup> MEZZOMO, Henrique. **Análise Comparativa entre um Pavimento de Concreto Simples e um Flexível para a Duplicação da Rodovia BR-386/RS**. Disponível em: <<https://www.univates.br/bdu/handle/10737/642>>. Acesso em 17 ago. 2019.

Os pavimentos flexíveis são adequados a solos que possuem maior resistência, diminuindo a necessidade de reforços, o que diminui o custo de implantação do projeto (NETO, 2011, apud MEZZOMO, 2014)<sup>15</sup>.

O pavimento de concreto tem grande resistência mecânica ao desgaste, não oxida, não deforma plasticamente, não tem formação de buracos, não deixa trilhas de rodas e tem uma estrutura de grande durabilidade. A pavimentação em concreto requer baixa manutenção, o que diminui acidentes relacionados à deterioração da via. A vida útil da pavimentação rígida dura cerca de três vezes mais que a pavimentação flexível (MEAN et al, 2011 apud. FILHO; ROCHA, 2015).

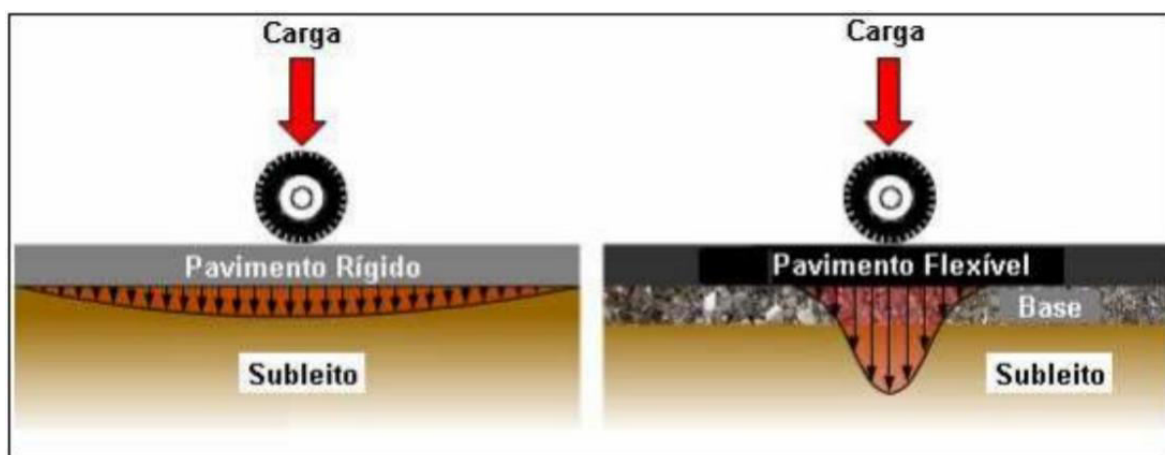
Segundo Mean et al, (2011), o recapeamento da pavimentação asfáltica torna-se necessário com 5 anos de vida útil devido à sua deformação.

Manutenção em vias asfálticas são rápidas, o que possibilita a liberação do trânsito com maior agilidade, o que não é possível no concreto já que ele requer um tempo de cura (RIBAS, 2017 apud. FILHO; ROCHA, 2015).

O pavimento rígido tem uma vida útil de aproximadamente 20 anos sem a intervenção de manutenção, enquanto o pavimento flexível tem duração de aproximadamente 10 anos (ANDRADE, 2018 apud. FILHO; ROCHA, 2015).

### Resistência

Os dois tipos de pavimentos estudados se comportam de maneiras diferentes quando solicitados por cargas, a maior diferença está em como as solicitações se distribuem nas camadas. O pavimento flexível distribui as cargas para as camadas inferiores de maneira direcionada, enquanto a pavimentação rígida distribui as cargas homoganeamente por toda a superfície da camada devido sua rigidez, não exigindo de forma demasiada as camadas inferiores.



**Figura 3** – Reação dos pavimentos aos esforços solicitados  
Fonte: ANDRADE (2007)

Ambos os pavimentos se comportam mecanicamente de maneiras diferentes, o que dificulta a comparação das estruturas no que diz respeito à resistência. A interação físico-química entre os materiais que compõem ambas as estruturas é outro empecilho no comparativo igualitário dos pavimentos.

<sup>15</sup> MEZZOMO, Henrique. **Análise Comparativa entre um Pavimento de Concreto Simples e um Flexível para a Duplicação da Rodovia BR-386/RS**. Disponível em: <<https://www.univates.br/bdu/handle/10737/642>>. Acesso em 17 ago. 2019

Os dois tipos de pavimento estudados apresentam uma constituição de camadas pouco parecidas. Enquanto o pavimento rígido possui poucas camadas, o pavimento flexível apresenta um número maior camadas, essa diferença implica na reação e na resposta que ambos têm quando pressionados ao solo.

Os ensaios também não foram elaborados devido a diferença de metodologia. Com ensaios diferentes não é possível a parametrização dos dados. Enquanto para o concreto o ensaio para teste de resistência à fadiga seria o teste de tensão na tração na flexão, no asfalto o teste para verificação de fadiga seria o de resistência a tração por compressão diametral.

Para ilustrar a resistência, foi feito um comparativo de espessuras com a mesma carga para ambos os pavimentos.

Pavimentos de concreto e asfalto não são apenas feitos de materiais diferentes, mas eles também distribuem as cargas do tráfego de maneira totalmente diferente. Isso significa que os procedimentos de cálculo de projeto para se estabelecer a espessura de ambos pavimentos também são diferentes. o conceito de número estrutural foi, no entanto, usado para estimar as seções de pavimentos de concreto e asfalto.

De acordo com a American Association of State Highway Officials o número estrutural (SN) representa o requisito estrutural geral necessário para sustentar as cargas de tráfego do projeto. É um número abstrato que expressa a resistência estrutural de um pavimento necessário para determinadas combinações de suporte do solo (MR), tráfego total expresso em ESALs (ESAL é a sigla para carga equivalente por eixo único), facilidade de manutenção do terminal e ambiente.

A equação a seguir pode ser usada para relacionar tipos de materiais e espessuras individuais ao número estrutural:

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2M_2 + a_3D_3M_3 \dots$$

Onde:

$a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  = coeficientes da camada estrutural do revestimento de superfície de desgaste, base e sub-base, respectivamente,

$D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  = espessura das camadas de superfície de desgaste, base e sub-base em polegadas, respectivamente,

$M_2$ ,  $M_3$  = coeficientes de drenagem para a base e a sub-base, respectivamente.

O Número Estrutural é convertido em espessuras reais da camada (por exemplo, 150 mm (6 polegadas) de HMA) usando um coeficiente ( $a$ ) que representa a resistência relativa dos materiais de construção nessa camada. Além disso, todas as camadas abaixo da camada superficial recebem um coeficiente de drenagem ( $M$ ) que representa a perda relativa de resistência em uma camada devido às suas características de drenagem e o tempo total em que é exposto a condições de umidade quase saturadas.

O coeficiente de drenagem geralmente é assumido como 1, embora as camadas de drenagem rápida que quase nunca ficam saturadas possam ter coeficientes tão altos quanto 1,4, enquanto as camadas de drenagem lenta que geralmente são saturadas podem ter coeficientes de drenagem tão baixos quanto 0,40. Vale lembrar que um coeficiente de drenagem é basicamente uma maneira de tornar uma camada específica mais espessa, mas não necessariamente mais densa. Se houver suspeita de um problema de drenagem fundamental, uma solução melhor é resolver o problema real de drenagem usando camadas muito densas (para minimizar a infiltração de água) ou projetando um sistema de drenagem.

Segue tabela resumida com alguns coeficientes de camada:

**Tabela 4** – Coeficientes de camada

Material	Coeficiente de camada
Concreto	0,5
<b>Superfície de asfalto</b>	
Plantmix – tipo de asfalto americano (alta estabilidade)	0,30 - 0,44
Roadmix – tipo de asfalto americano (baixa estabilidade)	0,10 - 0,20
Asfalto de areia	0,20 - 0,40
<b>Base tratada com material betuminoso</b>	
Base de classificação grossa	0,10 - 0,34
Asfalto de areia	0,10 - 0,30
<b>Base tratada com cimento (por resistência à compressão)</b>	
> 650 psi*	0,23
400 - 650 psi*	0,2
<400 psi*	0,15
<b>Base não estabilizada</b>	
Cal tratado	0,10 - 0,15
Pedra Britada	0,10 - 0,14
Areia grossa	0,07

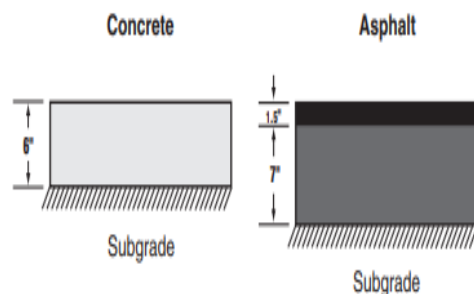
Fonte: ACPA, (20??)

\*psi = Libras por polegada quadrada (Pounds per Square Inch.)

A seguir alguns exemplos de comparação por meio do método SN a fim de equalizar a resistência de ambos os pavimentos em função de suas espessuras.

**Tabela 5** – Coeficientes de rua residencial

Variáveis de projeto:  $k = 100$ ,  $ADTT^* = 5$ , Categoria de carga por eixo leve, vida útil de 30 anos, não reforçado, 600 psi (resistência à flexão do concreto).  
 Concreto: espessura do projeto = 6,0 polegadas (SN Estimado =  $6 \times 0,50 = 3,0$ )  
 Asfalto: 1,5 polegadas de asfalto de alta estabilidade, base betuminosa grossa de 7,0 polegadas (SN =  $1,5 \times 0,44 + 7,0 \times 0,34 = 3,0$ )



Fonte: [http://www.concretepromotion.com/pdf/ACPA\\_PavementEquivalencyChart.pdf](http://www.concretepromotion.com/pdf/ACPA_PavementEquivalencyChart.pdf)

**Tabela 4** – Asfalto e concreto.  
Fonte: ACPA, (20??)

**Tabela 6** – Coeficientes de rua coletora

Variáveis de projeto:  $k = 100$ ,  $ADTT^* = 50$ ,  
Categoria de carga por eixo médio, vida útil de  
30 anos, não reforçado, 600 psi (resistência à  
flexão do concreto)

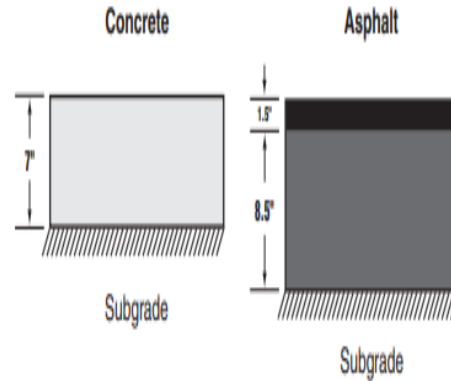
Concreto: espessura do projeto = 7,0 polegadas  
( $SN \text{ Estimado} = 7 \times 0,50 = 3,5$ )

Asfalto: asfalto de alta estabilidade de 1,5  
polegadas, base betuminosa grossa de 8,4  
polegadas

( $SN = 1,5 \times 0,44 + 8,4 \times 0,34 = 3,5$ )

\*ADTT = Média tráfego diário

Fonte: [http://www.concretepromotion.com/pdf/ACPA\\_PavementEquivalencyChart.pdf](http://www.concretepromotion.com/pdf/ACPA_PavementEquivalencyChart.pdf)



**Tabela 5** – Asfalto e concreto.  
Fonte: ACPA, (20??)

**Tabela 7** – Coeficientes de rua arterial menor

Variáveis de projeto:  $k = 200$ ,  $ADTT = 500$ ,  
Categoria de carga por eixo pesado, vida útil  
de 30 anos, com cavilha, sem reforço, 600 psi  
(resistência à flexão do concreto)

Concreto: espessura do projeto = 8,0  
polegadas

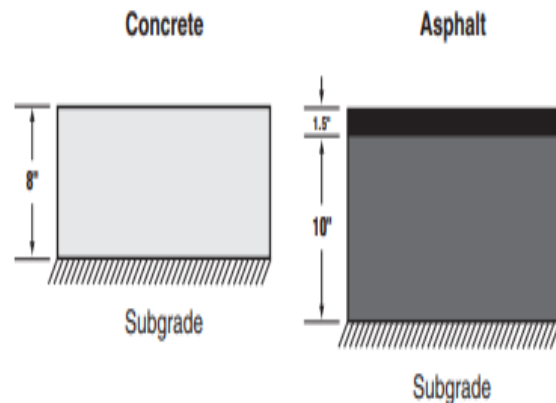
( $SN \text{ Estimado} = 8,0 \times 0,50 = 4,0$ )

Asfalto: asfalto de alta estabilidade de 1,5  
polegadas, base betuminosa de grau grosso  
de 10 polegadas

( $SN = 1,5 \times 0,44 + 10 \times 0,34 = 4,0$ )

\*ADTT = Média tráfego diário

Fonte: [http://www.concretepromotion.com/pdf/ACPA\\_PavementEquivalencyChart.pdf](http://www.concretepromotion.com/pdf/ACPA_PavementEquivalencyChart.pdf)



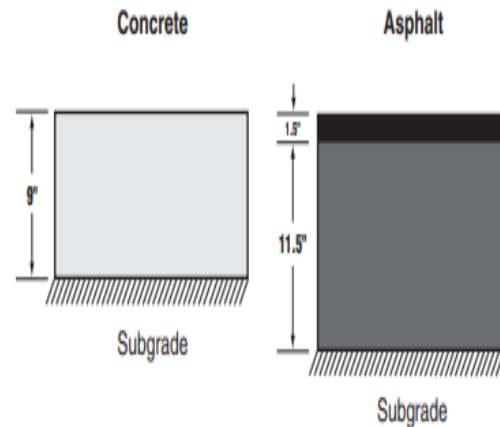
**Tabela 6** – Asfalto e concreto.  
Fonte: ACPA, (20??)

**Tabela 8** – Coeficientes de rua arterial menor

Variáveis de projeto:  $k = 200$ ,  $ADTT = 1500$ ,  
Categoria de carga por eixo muito pesado,  
vida útil de 30 anos,  
cavilhado, não reforçado, 600 psi (resistência  
à flexão do concreto)  
Concreto: espessura do projeto = 9,0  
polegadas  
(SN Estimado =  $9,0 \times 0,50 = 4,5$ )  
Asfalto: asfalto de alta estabilidade de 1,5  
polegadas, base betuminosa de grau grosso de  
11,5 polegadas  
(SN =  $1,5 \times 0,44 + 11,5 \times 0,34 = 4,6$ )

\*ADTT = Média tráfego diário

Fonte: [http://www.concretepromotion.com/pdf/ACPA\\_PavementEquivalencyChart.pdf](http://www.concretepromotion.com/pdf/ACPA_PavementEquivalencyChart.pdf)



**Tabela 7** – Asfalto e concreto.  
Fonte: ACPA, (20??)

Nos exemplos acima é possível verificar que para atingir o mesmo valor de número estrutura (SN) do concreto, o asfalto precisa de uma espessura de pavimentação mais espessa, o que permite resistir às mesmas cargas. Logo, em relação a resistência, o concreto se comporta melhor.

## METODOLOGIA

Os métodos de multicritérios de tomada de decisão podem auxiliar e comparar todas as alternativas levantadas ao longo do projeto, e ao fazê-lo, apresentar uma solução matematicamente satisfatória dependendo dos critérios que serão avaliados e ponderando os mais importantes entre eles, tais métodos tornam a tomada de decisão mais abrangível, indo além de uma simples análise de custos e aventando critérios igualmente importantes como resistência, sustentabilidade, manutenção e patologias.

Dentre os métodos de análise multicriterial disponíveis para estudo, utilizamos os métodos baseados na distância por meio de programação linear denominados Métodos MOLP (Multi-Objective Linear Programming). Esta distância estabelecida pelo método pode relacionar a distância entre o ponto de solução ideal ou até mesmo a pior solução possível. São eles os métodos CP (Programação por Compromisso) – que é o método da menor distância do melhor, e o método CGT (Teoria dos Jogos Cooperativos) – que é o método de maior distância do pior. Quando explicado somente em poucas palavras, os métodos parecem estabelecer o mesmo ponto, porém em perspectivas diferentes. Portanto vale aprofundar mais e estabelecer como ambos métodos funcionam.

Segundo ZELNY (1982), o método da Programação por Compromisso (CP) é baseado no conceito de distância métrica (Teorema de Pitágoras), entre dois pontos cujas coordenadas são conhecidas. ZUFFO et al. (2002) ainda diz que o que motiva a utilização deste método é que ele procura minimizar a distância de todos os pontos factíveis avaliáveis, para um determinado ponto escolhido pelo decisor, chamado de “Ponto Ideal”. A dificuldade na escolha do “Ponto Ideal” em relação a solução final é diminuída quando, por uma restrição, o “Ponto Meta” for menor ou igual ao “Ponto Ideal”. Uma “Solução Ideal” é definida pela função:

$$f_i^* = f_i(x)$$

O vetor  $f^*$  cujos elementos são todos máximos é chamado de vetor ideal:

$$f^* = (f_1^*, f_2^*, \dots, f_n^*)$$

A obtenção da solução ideal não é possível pois dificilmente existe um vetor de decisões  $x^*$  que seja solução comum a todos os  $n$  problemas. Porém, ela pode ser utilizada na avaliação das soluções alcançáveis. Esta distância é medida pela família métrica " $l_s$ " definida por:

$$l_s(x) = \left( \sum_{i=1}^n \alpha_i^S \left| \frac{f_i^* - f_i(x)}{f_i^* - f_{i,W}} \right|^S \right)^{\frac{1}{S}}$$

Em que:

$\alpha_i$ : são pesos atribuídos subjetivamente pelo decisor ou derivado de alguma estrutura de preferência;

$f_i^*$ : é o melhor valor obtido para o critério  $i$ ;

$f_{i,W}$ : é o pior valor obtido para o critério  $i$ ;

$f_i(x)$ : o resultado da implementação da decisão  $x$  com respeito ao  $i$ ésimo critério;

$S$ : reflete a importância que o decisor atribui aos desvios máximos, e varia no seguinte intervalo:  $1 < S < \infty$ ;

$n$ : número de critérios que estão sendo avaliados.

O método faz uma média ponderada das distâncias, uma vez que a soma dos pesos dos critérios ( $\alpha$ ) torna à unidade (é necessário, portanto, uma padronização destes pesos antes da aplicação do método). Desta forma, tem-se uma ideia de quão relevante este ou aquele critério é percentualmente. Contudo:

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$$

Para  $S = 1$ , todos os desvios de  $f_i^*$  são levados em consideração proporcionalmente às suas magnitudes. Para  $2 < S < \infty$ ; o maior desvio tem a maior influência. Para  $S = \infty$ , o maior desvio é o único considerado (critério minimax). O problema é resolvido, geralmente, para um conjunto de pesos atribuídos  $\{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$  e para  $S = 1, 2$  e  $\infty$  (Gershon e Duckstein, 1983).

Como a escolha de “ $S$ ” reflete a importância que o decisor atribui aos desvios máximos, pode-se dizer que existe dois esquemas de pesos: no primeiro o parâmetro “ $S$ ”

reflete a importância que os desvios máximos possuem e, no segundo o parâmetro “ $\alpha_i$ ” reflete a importância do critério  $i$ .

Para que se possa comparar o resultado deste método, com os obtidos pela aplicação do mesmo problema por diferentes métodos multicriteriais, deve-se adotar  $S = 1$ . Caso contrário, altera-se a relação entre os pesos, definindo-se, desta forma, um problema diferente a ser aplicado por outros métodos.

Quando as alternativas de solução estão discretizadas e cada um dos critérios está representado na matriz de avaliação (Payoff), este método pode ser aplicado fazendo-se que os melhores valores alcançados por cada um dos critérios seja definido como  $f_i^*$  e os piores como  $f_{i,W}$ . Com esses valores, com os parâmetros “ $\alpha_i$ ” (pesos) e “ $S$ ” dados (no caso = 1), calcula-se a distância de cada alternativa à solução ideal, e seleciona-se a alternativa de menor distância como a de melhor compromisso.

A utilização desta ferramenta é relativamente simples e mais fácil de ser entendida quando colocada em prática, ao utilizar a técnica previamente descrita, poderemos alcançar um resultado e então analisá-lo.

Já o método da Teoria do Jogos Cooperativos (CGT) minimiza a distância de certo ponto ideal, a “melhor” solução é aquela que maximiza a distância de algum ponto “status quo”, considerando uma hipotética situação de nível mínimo, em que a medida de distância utilizada é a geométrica (Gershon e Duckstein, 1983). A teoria do jogo, em geral, é um estudo matemático de resolução de conflitos. Um aspecto da teoria do jogo é que os participantes têm a oportunidade de se comunicarem e formar ligações e reforçar concordâncias e/ou acordos. O resultado de cada acordo resulta na formulação de uma matriz de avaliação (Payoff). A função de distância utilizada é dada por:

$$l_s(x) = \prod_{i=1}^n |f_i(x) - f_i^*|^{\alpha_i}$$

Em que:

$\alpha_i$ : é o peso padronizado do  $i$ ésimo critério;

$f_i^*$ : é o  $i$ ésimo elemento do ponto “status quo”, ou seja, o pior resultado. Costuma-se decrescer em 1 unidade do  $f_i^*$  a fim de não zerar os resultados;

$f_i(x)$ : o resultado da implementação da decisão  $x$  com respeito ao  $i$ ésimo critério;

$n$ : número de critérios que estão sendo avaliados.

O método CGT evidencia que a única solução existente é obtida através de um único caminho e invés de enfatizar uma certa competição entre os objetivos pré-determinados, o método considera os objetivos trabalhando em cooperação a fim de atingir uma solução ideal.

As tabelas a seguir evidenciam os dados levantados para execução dos métodos:

O trabalho levanta a possibilidade de duas alternativas a serem testadas em ambos os métodos, assim como os pesos de cada critério avaliado, os pesos foram definidos variando entre 1 e 5, onde o valor 1 é implicado aos critérios menos importantes, enquanto o valor 5 corresponde a critérios mais relevantes.

Alternativas propostas:

**Tabela 9 – Alternativas**

Alternativa	Descrição
-------------	-----------



A	Pavimento Rígido
B	Pavimento Flexível

Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

**Tabela 10** – Critérios

Critérios		Pesos
Resistência	Tração	5
	Compressão	5
	Resiliência/flexão	5
Custos	Custo inicial	5
	Custo de manutenção	5

Continua na próxima página.

Manutenção/Execução	Mão de obra qualificada	4
	Durabilidade	4
	Confiabilidade	4
	Preparação Estrutural	4
Sustentabilidade	Impactos ambientais gerais	2
	Ciclo da matéria prima fundamental	2
	Reciclagem do material	2
Patologias	Desgaste	3
	Má execução de obra	3
	Mau uso (usuário)	3

Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

A determinação dos valores de peso para cada critério segue os padrões de aprovação de obras da construção civil onde custo é sempre um fator decisivo, os critérios de resistência também possuem o valor máximo, pois, auxiliam o custo com a qualidade, o que a longo prazo pode se tornar um grande diferencial econômico.

Manutenção e execução recebem notas um pouco mais baixas, porém, de certa forma estão ligadas ao custo e devem receber notas relativamente altas, enquanto sustentabilidade e patologias receberam em sua totalidade notas 2 e 3, respectivamente, por serem os últimos pontos considerados durante a aprovação de projetos construtivos por parte de iniciativa privada ou pública.

Dando continuidade ao método de análise multicriterial, é preciso definir funções de valor para cada critério listado na tabela anterior. As funções de valor devem seguir conceitos lógicos e que devem variar entre 0 (péssimo) e 10 (excelente)

**Tabela 11** – Critérios

Critérios		
Resistência	Tração	Quanto menores os valores necessários, quando comparada com a pior
	Compressão	

	Resiliência/flexão	alternativa, mais próximo será da excelência.
Custos	Custo inicial	Quanto menores os valores necessários, quando comparada com a pior alternativa, mais próximo será da excelência.
	Custo de manutenção	
Manutenção/Execução	Mão de obra qualificada	Quanto menores os valores necessários, quando comparada com a pior alternativa, mais próximo será da excelência.
	Durabilidade	
	Confiabilidade	
	Preparação Estrutural	

Continua na próxima página.

Sustentabilidade	Impactos ambientais gerais	Quanto menores os valores necessários, quando comparada com a pior alternativa, mais próximo será da excelência.
	Ciclo da matéria prima fundamental	
	Reciclagem do material	
Patologias	Desgaste	Quanto menores os valores necessários, quando comparada com a pior alternativa, mais próximo será da excelência.
	Má execução de obra	
	Mau uso (usuário)	

Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

A partir dos critérios, pesos e funções de valor, é possível desenvolver a tabela que reunirá todas as informações que servirão como base para as análises dos métodos CP e CGT.

**Tabela 12** – Critérios

Critérios		Pesos ( $\alpha$ )		FUNÇÕES DE VALOR	
		Absoluto	Relativo	A	B
Resistência	Tração	5	0,0893	10	5
	Compressão	5	0,0893	10	5
	Resiliência/flexão	5	0,0893	10	5
Custos	Custo inicial	5	0,0893	8	6
	Custo de manutenção	5	0,0893	10	5
Manutenção/Execução	Mão de obra qualificada	4	0,0714	5	10
	Durabilidade	4	0,0714	10	5
	Confiabilidade	4	0,0714	10	7
	Preparação Estrutural	4	0,0714	5	6
Sustentabilidade	Impactos ambientais gerais	2	0,0357	10	5
	Ciclo da matéria prima	2	0,0357	6	5

	fundamental				
	Reciclagem do material	2	0,0357	5	10
Patologias	Desgaste	3	0,0536	8	4
	Má execução de obra	3	0,0536	6	5
	Mau uso (usuário)	3	0,0536	8	4

Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

### Função de valor justificada:

**Resistencia:** o levantamento das resistências de ambos os pavimentos foi por meio de comparação de espessuras, como os ensaios que analisam a resistência por fadiga para ambos os compostos apresentam discrepância de metodologia, optamos por dar maior valor de resistência o composto que apresentasse espessura mais esbelta em um comparativo com ambos sujeitos às mesmas solicitações de cargas. O comparativo obedece a uma série de normas de coeficientes assim como normas destinadas a cada tipo de pavimento, respeitando o número de veículos diários que farão uso da via. O concreto é mais resistente no que diz respeito à solicitação de carga.

**Custos:** o comparativo de custo entre os diferentes tipos de pavimento levantou informações generalizadas, onde se faz impossível por meio de materiais acadêmicos detalhar os gastos de obra, porém foi possível o levantamento final de cada um. Durante o comparativo se estabeleceu que os custos podem variar de acordo com as condições que serão impostas as vias, pavimentos flexíveis se mostraram mais econômicos em vias de baixo volume de carros, porém vias de médio e alto volume, o pavimento rígido se sobressaiu. Quando comparados em quesito de manutenção, o pavimento rígido se mostrou mais econômico, portanto, justificasse uma nota mais alta para o pavimento rígido neste caso.

**Manutenção/Execução:** ao comparar as informações levantadas quanto a manutenção/execução de ambos os pavimentos, notou-se uma grande diferença entre a durabilidade e confiabilidade dos materiais, dando vantagem ao pavimento de concreto por ser incrivelmente mais resistente a desgaste e a deformação, o que justifica uma nota mais alta em ambos os critérios. Quanto a mão de obra qualificada, não existem dados quantitativos no que se refere a este critério, porém, é possível se justificar pelo fato de que o pavimento flexível é considerado o pavimento convencional e que constitui a grande maioria das vias pavimentadas do país, portanto, é muito provável que a mão de obra qualificada seja mais abundante e por sua vez se justifica uma nota de maior excelência neste quesito. Já o critério de preparação estrutural, em ambos os casos existem complicações. O pavimento flexível, possui uma estruturação mais complexa por conta de suas várias camadas, mas em outra ponta, o pavimento rígido também possui dificuldades quanto a metodologia de aplicação, portanto, as notas foram aproximadas.

**Sustentabilidade:** o levantamento de dados sustentáveis de ambos os materiais traz características distintas quando comparados entre eles, ao analisar os pavimentos em estudo, notasse que o pavimento rígido diminui o impacto ambiental de forma geral, diminuindo gastos de energia, aumentando a longevidade de veículos de transporte, o que acaba por diminuir o gasto de matéria prima para produzir certos objetos, a falta de necessidade de manutenção, que por sua vez diminui a emissão de gases causados pela lentidão ou parada de veículos, a temperatura mais baixa da via, que melhora as condições da fauna local e diminui a necessidade de coisas como ar condicionado e algumas outras vantagens que não podemos usufruir do pavimento flexível. Quanto ao ciclo do material, os processos de produção de ambos os pavimentos são prejudiciais ao meio ambiente em suas proporções únicas. No

questo reciclagem, o pavimento flexível leva vantagem por conta da possibilidade de misturar outros materiais e ser reutilizável.

Patologias: estão listadas ao menos 20 tipos de patologia do pavimento rígido no manual de normas da DNIT, são eles: Alçamento de placas, fissura de canto, placa dividida, degrau de juntas, falha na selagem das juntas, desnível de pavimento, fissuras lineares, grandes reparos, pequenos reparos, desgaste superficial, bombeamento, quebras localizadas, passagem de nível, escamação, fissuras de retração plástica, quebra de canto, esborcinamento de juntas, placa bailarina, assentamento, buracos, cada um com sua descrição singular (Norma DNIT 061/2004 – TER).

Também são listadas patologias para o pavimento flexível: Fissuras, 5 tipos diferentes de trincas, 2 tipos de afundamento, ondulação, escorregamento, exsudação, desgaste, panela ou buraco, 2 tipos de remendo (Norma DNIT 005/2003 – TER).

Ambos pavimentos apresentam diversos tipos de patologia, o que dificulta em atribuir um valor a função de valores dos métodos, portanto a nota é justificada pelo tempo e dificuldade de tais patologias ocorrerem, o pavimento flexível possui um tempo de vida útil de no máximo 10 anos com manutenções preventivas, enquanto o rígido dura no mínimo 20 anos sem real necessidades de manutenção, desta forma será atribuído um valor mais alto de excelência (8) ao pavimento rígido e um valor médio (4) ao pavimento flexível por conta da longevidade dos materiais serem exatamente o dobro/metade entre eles e levando em consideração que ambos estão sendo avaliados sobre condições igualitárias. Neste caso em particular não podemos atribuir a nota máxima de excelência pois tal nota demonstraria um pavimento isento de patologias.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Seguem as tabelas que demonstram os resultados obtidos através do desenvolvimento dos métodos multicriteriais de tomada de decisão CP e CGT

**Tabela 12** – Matriz Payoff – Método CP

CRITÉRIOS		MATRIZ PAYOFF - METODO CP					
		PESOS ( $\alpha$ )		ALTERNATIVAS		CP	
		ABSOLUTO	RELATIVO	A	B	fi*	fi,w
Resistência	Tensão	5	0,089	0,000	0,089	10,000	5,000
	Compressão	5	0,089	0,000	0,089	10,000	5,000
	Resiliência/flexão	5	0,089	0,000	0,089	10,000	5,000
Custos	Custo inicial	5	0,089	0,000	0,089	8,000	6,000
	Custo de manutenção	5	0,089	0,000	0,089	10,000	5,000
Manutenção/Execução	Mão de obra qualificada	4	0,071	0,071	0,000	10,000	5,000
	Durabilidade	4	0,071	0,000	0,071	10,000	5,000
	Confiabilidade	4	0,071	0,000	0,071	10,000	7,000
	Preparação Estrutural	4	0,071	0,071	0,000	6,000	5,000
Sustentabilidade	Impactos ambientais gerais	2	0,036	0,000	0,036	10,000	5,000
	Ciclo da matéria prima fundamental	2	0,036	0,000	0,036	6,000	5,000
	Reciclagem do material	2	0,036	0,036	0,000	10,000	5,000
Patologias	Desgase	3	0,054	0,000	0,054	8,000	4,000
	Má execução	3	0,054	0,000	0,054	6,000	5,000
	Mau uso (usuário)	3	0,054	0,000	0,054	8,000	4,000
CP :		Is (x) =		0,18	0,82		
		ordem:		1	2		

Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

**Tabela 12** – Matriz Payoff – Método CGT

CRITÉRIOS		MATRIZ PAYOFF - METODO CGT				
		PESOS ( $\alpha$ )		ALTERNATIVAS		CGT
		ABSOLUTO	RELATIVO	A	B	fi*
Resistência	Tensão	5	0,089	1,173	1,000	4,000
	Compressão	5	0,089	1,173	1,000	4,000
	Resiliência/flexão	5	0,089	1,173	1,000	4,000
Custos	Custo inicial	5	0,089	1,103	1,000	5,000
	Custo de manutenção	5	0,089	1,173	1,000	4,000
Manutenção/Execução	Mão de obra qualificada	4	0,071	1,000	1,137	4,000
	Durabilidade	4	0,071	1,137	1,000	4,000
	Confiabilidade	4	0,071	1,104	1,000	6,000
	Preparação Estrutural	4	0,071	1,000	1,051	4,000
Sustentabilidade	Impactos ambientais gerais	2	0,036	1,066	1,000	4,000
	Ciclo da matéria prima fundamental	2	0,036	1,025	1,000	4,000
	Reciclagem do material	2	0,036	1,000	1,066	4,000
Patologias	Desgaste	3	0,054	1,090	1,000	3,000
	Má execução	3	0,054	1,038	1,000	4,000
	Mau uso (usuário)	3	0,054	1,090	1,000	3,000
CGT :			Is (x) =	3,54	1,27	
			ordem:	1	2	

Fonte: PRÓPRIO AUTOR.

Portanto, verifica-se que em ambos os métodos, obteve-se o mesmo resultado, onde a melhor opção obtida foi a alternativa A (pavimento rígido). Tais métodos fortalecem a tomada de decisão utilizando os critérios e suas respectivas relevâncias. O resultado em questão se justifica matematicamente, considerando todos os dados disponíveis que foram inseridos ao longo do projeto. Os métodos multicriteriais podem e devem ser utilizados quando necessário, qualquer tomada de decisão onde não se tem certeza de qual opção escolher, tais métodos podem vir a calhar, principalmente no âmbito profissional.

## CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi fazer um comparativo entre os dois tipos de pavimentação e mostrar as vantagens e desvantagens de cada um. Por elevar a qualidade das vias no que diz respeito aos critérios de ordem técnica, o pavimento rígido leva vantagem quanto a este quesito, além de beneficiar o usuário em conforto, segurança, fluidez do tráfego



rodoviário, justamente pela menor necessidade de manutenção das vias, alta resistência à ataques químicos nas mais variadas ordens, alta resiliência quando comparado ao pavimento flexível, o que consequentemente dificulta a formação de patologias na via, impermeabilidade, reflexão de luz, o que promove uma visibilidade horizontal mais ampla, maior sustentabilidade, pois gera economia de combustível, utiliza menos energia em sua produção e tem menor geração de resíduos, o que faz de suas vantagens ao condutor serem inquestionáveis.

No que diz respeito a custo, o pavimento flexível leva vantagem, pois tem o menor custo inicial, porém, se analisarmos a longo prazo, o pavimento rígido se equipara ao pavimento flexível, pois o asfalto requer um custo de manutenção maior, por exigir manutenção rotineira. Na implantação para tráfego de poucos veículos, o asfalto tem um custo muito mais barato, porém, para tráfego de veículos mais pesados, o concreto tem um custo para a implantação mais competitivo. Portanto, com todos os comparativos listados e com suas respectivas notas atribuídas, foi feito o estudo com as ferramentas CT e CGT, que indicou em ambos os casos que o pavimento rígido se sobressai sobre o flexível.

### **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a Deus, ao nosso orientador, Prof. Heitor Berger, por todo apoio durante a pesquisa, à instituição USF e ao Google.

### **REFERÊNCIAS**

MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira. **Departamento de Transportes e Geotecnia TRN 032 – Pavimentação**. 2006. 01p. Notas de Aula da Disciplina. Universidade Federal de Juiz de Fora Faculdade de Engenharia. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/pavimentacao/files/2009/03/Notas-de-Aula-Prof.-Geraldo.pdf>>. Acesso em 18 de nov. 2019.

ANDRADE, Laurindo; VIEIRA, Leonan; CARNEIRO, Mozart. **Estudo e Análise Comparativa entre Pavimentação Rígida E Flexível**. Disponível em: <[https://servicos.unitoledo.br/repositorio/bitstream/7574/212/1/Andrade\\_Barros\\_Neto\\_2017.pdf](https://servicos.unitoledo.br/repositorio/bitstream/7574/212/1/Andrade_Barros_Neto_2017.pdf)>. Acesso em 02 de nov. 2019.

FILHO, José; ROCHA, Eider. **Estudo Comparativo entre Pavimentos Flexível e Rígido na Pavimentação Rodoviária**. Núcleo do Conhecimento, 2018. Disponível em: <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/pavimentos-flexivel>>. Acesso em 13 out. 2019.

ARAÚJO, Ana; SENA, Mylena; FARIAS, Nayana; SALGUEIRO, Thais; ALENCAR, Viviane; PINTO, Francisco. **O Asfalto e os Impactos Ambientais. Recando das Letras**. 2016. Disponível em: <<https://www.recantodasletras.com.br/artigos-de-ciencia-e-tecnologia/5508530>>. Acesso em 23 ago. 2019.

AMDA. **Ciclo de Vida do Cimento**. Disponível em: <<https://www.amda.org.br/index.php/comunicacao/ciclo-de-vida/2767-ciclo-de-vida-do-cimento>>. Acesso em 23 jul. 2019.



**FRAGMAQ. Entenda Como Acontece a Reciclagem de Pavimento Asfáltico. 2017.**

Disponível em: <https://www.fragmaq.com.br/blog/entenda-como-acontece-reciclagem-de-pavimento-asfaltico/>. Acesso em 23 jul. 2019.

**PENSAMENTO VERDE. Você Sabe Como é Realizada a Reciclagem do Concreto?**

Disponível em: <https://www.pensamentoverde.com.br/reciclagem/voce-sabe-como-e-realizada-reciclagem-concreto/>. Acesso em 21 ago. 2019.

**SIMPLÍCIO, Tadeu. Estudo Comparativo entre Pavimento Rígido e Flexível.**

Universidade Federal do Piauí, Centro de Tecnologia. 2014. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/346922075/TCC-Tadeu-Simplicio-de-Rose-ndo-Junior>. Acesso em 05 ago. 2019.

**MEZZOMO, Henrique. Análise Comparativa entre um Pavimento de Concreto Simples e um Flexível para a Duplicação da Rodovia BR-386/RS.** Disponível em: <https://www.univates.br/bdu/handle/10737/642>. Acesso em 17 ago. 2019.

ACPA. Equivalency Chart for Concrete and Asphalt Pavements. Disponível em: <http://www.concretepromotion.com/pdf/ACPAPavementEquivalencyChart.pdf>. Acesso em 22 out. 2019.

**GERSHON, M; DUCKSTEIN, L. Multiobjective approaches to river basin planning.** Journal of Water Planning and Management, 109(1): 13-28, 1983.

**ZELENY, M. Multiple criteria decision making.** New York: McGraw-Hill Book Company, 1982.

**ZUFFO, A.C.; REIS, L.F.R.; SANTOS, R.F; CHAUDHRY, F.H. Aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento de recursos hídricos.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 7, n. 1, p. 81-102, 2002.