

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LORENA AMARAL RODRIGUES FERREIRA

**ESTUDO SOBRE A DURABILIDADE, SUSTENTABILIDADE E
COMPETITIVIDADE DOS PAVIMENTOS DE CONCRETO
UTILIZADOS NAS ESTRADAS DE RODAGEM BRASILEIRAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2015

LORENA AMARAL RODRIGUES FERREIRA

**ESTUDO SOBRE A DURABILIDADE, SUSTENTABILIDADE E
COMPETITIVIDADE DOS PAVIMENTOS DE CONCRETO
UTILIZADOS NAS ESTRADAS DE RODAGEM BRASILEIRAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso superior de Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

Orientadora: Prof^a MSc. Eliana Fernandes dos Santos

CAMPO MOURÃO

2015



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Construção Civil
Coordenação de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso

ESTUDO SOBRE A DURABILIDADE, SUSTENTABILIDADE E COMPETITIVIDADE DOS PAVIMENTOS DE CONCRETO UTILIZADOS NAS ESTRADAS DE RODAGEM BRASILEIRAS

por

Lorena Amaral Rodrigues Ferreira

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 13h50min do dia 20 de novembro de 2015 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof^a. Dr^a. Vera Lucia Barradas Moreira

(UTFPR)

**Prof. Esp. Sergio Roberto Oberhauser
Quintanilha Braga**

(UTFPR)

Prof. MSc. Eliana Fernandes dos Santos

(UTFPR)

Orientadora

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

Prof. Dr. Marcelo Guelbert

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

A realização de um sonho se aproxima! Deus sempre se manteve presente, me encorajando e dando forças para seguir em frente. Durante esse percurso pessoas incríveis passaram pelo meu caminho, transmitindo energias que me fortaleceram imensamente. À eles, minha eterna gratidão.

À minha mãe Silvânia, meu pai Loiola e minha vó Rosa, que mesmo com a grande distância sempre buscaram me apoiar, muito obrigada. Cada palavra, cada ensinamento foi essencial. Dedico a vocês essa conquista!

Aos meus irmãos, Marffizia e Wellberth por sempre acreditar, por sonhar junto.

Ao meu avô Josias, que, mesmo estando em outro plano sempre esteve próximo. Seu olhar sereno, suas palavras doces, ainda estão vivas dentro de mim e me tranquilizam.

À toda a família, pelas orações. Suas demonstrações de carinho, telefonemas e abraços foram muito importantes.

Aos meus amigos de Campo Mourão. Vou levar vocês para a vida! Ter vocês comigo facilitou o meu dia-a-dia e amenizava a saudade de casa.

Às minhas amigas de infância, meus colegas de ensino médio, pelos conselhos e boas risadas.

À universidade e aos professores pelo conhecimento técnico adquirido. À minha orientadora pelo auxílio.

RESUMO

FERREIRA, Lorena A. R. Estudo sobre a durabilidade, sustentabilidade e competitividade dos pavimentos de concreto utilizados nas estradas de rodagem brasileiras. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.

A rede rodoviária é a principal via de escoamento do Brasil, entretanto apenas 13% dela é pavimentada e desse percentual, 95% são estradas pavimentadas com revestimento asfáltico. Grande parte dela encontra-se mal conservada, sem a devida sinalização, tornando-as perigosas e comprometendo a produtividade do país. É notório a necessidade de uma infraestrutura de transporte terrestre brasileira adequada, capaz de garantir o pleno desenvolvimento do Brasil. Nesse contexto, os pavimentos de concreto podem ser uma solução capaz de suprir essa carência de investimentos, já que possuem uma vida útil superior a 20 anos, sem necessidade de manutenções periódicas e perfeitamente capaz de suportar tráfego pesado. Este trabalho visa elencar todas as vantagens desse tipo de revestimento, enfocando no seu potencial competitivo, afim de indicá-lo como alternativa para melhorar a qualidade das estradas brasileiras. Para a realização deste, foi feito uma vasta pesquisa bibliográfica, fomentado por subsídio de conceitos e pesquisa informal com especialista no assunto. Concluiu-se que há um déficit de disseminação dessa alternativa e que, a cultura do asfalto somado à carência de profissionais habilitados no mercado pode ser a explicação do reduzido número de rodovias que utilizam o concreto como revestimento de suas pistas.

Palavras chave: Rede rodoviária. Produtividade. Infraestrutura. Pavimento de concreto.

ABSTRACT

FERREIRA, Lorena A. R. Study of durability, sustainability and competitiveness of concrete coating used in Brazilian roads. 60 sheets. Term paper (bachelor's degree in civil engineering) - Federal Technological University of Paraná. Campo Mourao (2015).

The road network is the main flow path in Brazil, however, only 13% of it is paved and about this percentage, 95% are paved roads with asphalt. Most of the road network is poorly maintained, with inadequate signaling, making it dangerous and compromising the country's productivity. It is noticeable the need for adequate Brazilian ground transportation infrastructure to ensure the development of Brazil. In this context, the concrete pavements can be a solution to meet this lack of investment, since it has a useful life exceeding 20 years without the need for periodic maintenance and perfectly able to support heavy traffic. This paper aims to list all the advantages of this type of coating, focusing on their competitive potential in order to display it as an alternative to improve the quality of Brazilian roads. In addition, an extensive literature search was made, supported by concepts and informal survey provided by an expert. The conclusion is that there is a deficit in spreading this alternative and, the use of asphalt used as primary option added to the shortage of qualified professionals may explain the small number of roads that use concrete as coating.

Keywords: Road network. Productivity. Infrastructure. Concrete coating

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Caminhos do Mar – primeira estrada pavimentada com concreto na América Latina.	20
Figura 2: Pavimentos rodoviários construídos em concreto no Brasil entre 1926 a 1949	21
Figura 3: Estrada do Corcovado.....	22
Figura 4: BR-116 (Serra de Teresópolis/RJ) e BR 040 (Serra de Petrópolis/RJ), respectivamente	22
Figura 5: Rodovia dos Imigrantes/SP (à esquerda) e Interligação Anchieta Imigrantes/SP (superior e inferior, à direita).....	23
Figura 6: Rodovia Presidente Dutra	25
Figura 7: Construção da Rodovia Imigrantes	26
Figura 8: Extensão dos trechos do Rodoanel Mario Covas	28
Figura 9: Rodoanel Mário Covas.....	28
Figura 10: BR 101 NE (Lote 01/ RN, Lote 03/AL, Lote 06/PE).....	30
Figura 11: Corredor de ônibus eixo Leste – Oeste (Curitiba/PR)	31
Figura 12: Pátio de Aeronaves Aeroporto Afonso Pena, Curitiba - PR	33
Figura 13: Vibroacabadora na construção do pavimento de concreto na Nova Dutra	36
Figura 14: Rodovia Castello Branco, ilustrando estrada de concreto (à esquerda) vs. Asfalto	37
Figura 15: Exemplo de economia de iluminação pública e energia elétrica proporcionada pelo pavimento de concreto	38
Figura 16: pavimento permeável de concreto poroso	43
Figura 17: acima (Orla de São Conrado – Rio de Janeiro/RJ; Praça Municipal – Apucarana/PR; Orla de Boa Viagem - Recife/PE), abaixo (Praça Sete de Setembro – Belo Horizonte/MG; Jundiaí – São Paulo/SP e Campo Grande/MS)	44
Figura 18: Resumo dos custos de construção de pavimento flexível e rígido em R\$/Km	49
Figura 19: Análise econômica comparativa - Resumo	50

Figura 20: Comparativo econômico entre CAUQ (concreto asfáltico usinado à quente) e PCS (pavimento de concreto simples)50

LISTA DE SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACPA – *Concrete Pavement Association*
BRT – *Bus Rapid Transit*
CAUQ – Concreto Asfáltico Usinado à quente
CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado à quente
CCA – Pavimento de Concreto de Cimento Asfáltico
CCP – Pavimento de Concreto de Cimento Portland
CCR – Companhia de Concessões Rodoviárias
cm – centímetros
CNT – Confederação Nacional do Transporte
DER – Departamento de Estradas de Rodagem
DERSA – Desenvolvimento Rodoviário S/A
DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre
FIEPR – Federação das Indústrias do Estado do Paraná
ICP – Índice de Condição do Pavimento
IBTS – Instituto Brasileiro de Telas Soldadas
km – quilômetros
m – metros
NBR – Norma Brasileira
PAC – Programa de Aceleração
PCA – Portland Cement Association
PCS – Pavimento de Concreto Simples
SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SNIC – Sindicato Nacional da Indústria do Cimento
VLT – Veículo Leve sobre Trilhos
VMDa – Volume Médio Diário Anual
WT – Whitetopping

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS.....	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 JUSTIFICATIVA.....	15
4 REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
4.1 DEFINIÇÃO DE PAVIMENTO.....	17
4.1.1 Tipos de pavimento	17
4.2 PAVIMENTO DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND	18
4.3 CONTEXTO HISTÓRICO.....	19
4.3.1 Pavimento de concreto no Brasil.....	21
4.4 PRINCIPAIS OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO EM CONCRETO NO BRASIL	24
4.4.1 Rodoviárias.....	24
4.4.1.1 Rodovia Presidente Dutra	24
4.4.1.2 Rodovia dos Imigrantes.....	25
4.4.1.3 Rodoanel Mario Covas	27
4.4.1.4 BR 101-NE	29
4.4.2 Urbanas.....	30
4.4.3 Aeroportuárias.....	32
4.5 VANTAGENS DE APLICAÇÃO.....	33
4.5.1 Pavimento de elevada durabilidade com baixa manutenção	34
4.5.2 Rapidez de execução.....	35
4.5.3 Segurança e conforto de rolamento.....	36
4.5.4 Economia de energia elétrica.....	37

4.5.5 Economia de Combustível.....	39
4.6 QUESTÃO AMBIENTAL.....	39
4.6.1 Coprocessamento e adições.....	39
4.6.2 Redução da temperatura ambiente	41
4.6.3 Inexistência da lixiviação	41
4.7 SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS SUSTENTÁVEIS EM CONCRETO	42
4.7.1 Pavimento permeável de concreto	42
4.7.2 Pavimento Intertravado	43
4.7.3 Pavimento de Concreto.....	45
4.8 CONSERVAÇÃO DOS PAVIMENTOS DE CONCRETO	46
4.9 COMPETITIVIDADE	47
5 METODOLOGIA	51
6 RESULTADOS.....	52
7 CONCLUSÃO	54
BIBLIOGRAFIA	56

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, as primeiras rodovias surgiram em meados dos anos 20, e o concreto tem grande participação no início da implantação das estradas do país, já que foi um dos materiais mais utilizados para a pavimentação. O então governador da Província de São Paulo, Washington Luiz Pereira de Souza, conhecido como paulista de Macaé foi o primeiro a estabelecer estas obras, ele inaugurou o denominado “Caminho do Mar”, que ligava a Capital do estado ao litoral paulista e, programou ainda as rodovias Anchieta e Anhanguera, ambas em concreto, antes de se retirar do governo paulista. Pertence a ele a frase “Governar é abrir estradas”, expressão essa, que até hoje está gravada em todos os DERs de São Paulo. Já como presidente da república, construiu e deixou planejadas diversas rodovias, todas elas em concreto, como a Rodovia Presidente Dutra, Rio Petrópolis entre outras. (Associação Brasileira de Cimento Portland, 2009, p. 16).

Washington Luiz, um entusiasta do automóvel, pode ser considerado o responsável pelo modelo brasileiro de transportes. Nesse modelo, prevalece a dependência exacerbada das rodovias, na maioria dos casos em péssimas condições, sem qualquer segurança para o usuário.

A expansão da malha rodoviária brasileira ocorreu a partir do governo Vargas com a criação do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) no ano de 1937. (COFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRABALHADORES EM TRANSPORTES E LOGÍSTICA, 2015).

Desde a década de 50, a ênfase da análise do transporte rodoviário vem se consolidando associada à implantação da indústria automobilística no país, à aceleração da industrialização e às necessidades de interiorização e integração do território nacional com a mudança da capital federal para Brasília.

A partir daí a rede rodoviária se ampliou de forma notável e se tornou a principal via de escoamento, sendo, de acordo com Padula (2008, p.11), responsável pelo transporte de 95% dos passageiros e por 61% do transporte de carga do país.

Visto a importância dessa rede rodoviária para o desenvolvimento do país, permitindo um maior acesso a áreas que outrora eram isoladas, fez-se necessária a pavimentação dessas estruturas. Nesse diapasão, esclarece Bernucci (2010, p. 09) quanto a pavimentação:

Pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículo, do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança. (BERNUCCI et al., 2010, p. 09)

De acordo com os dados estatísticos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), “a malha rodoviária brasileira é de cerca de 1 milhão 634 mil quilômetros e apenas 13% desse total é pavimentado, ou seja, 211 mil quilômetros”. (ABEDA, 2010, p. 11).

Os pavimentos rodoviários se classificam em três tipos distintos devido à característica do revestimento utilizado: rígidos, semirrígidos ou invertidos e flexíveis. Os rígidos são comumente denominados de pavimentos de concreto de cimento Portland e os flexíveis são conhecidos como pavimentos asfálticos. Já os pavimentos semirrígidos possuem uma camada cimentícia abaixo de um revestimento flexível compondo sua estrutura e também são denominados de invertidos quando se situa na camada inferior.

Segundo Bernucci et. al. (2010, p. 25) na maioria dos países do mundo, a pavimentação asfáltica é a principal forma de revestimento e, “no Brasil, cerca de 95% das estradas pavimentadas são de revestimento asfáltico, além de ser também utilizado em grande parte das ruas”.

Todavia, ao realizar análises técnicas, os pavimentos de concreto se sobressaem perante os asfálticos em determinadas situações, por serem considerados um sistema construtivo de alta qualidade, duradouro, econômico e seguro. É ainda considerado uma tecnologia ambientalmente responsável e correta por apresentar características sustentáveis desde a sua concepção, construção até a manutenção.

Buscando elencar todas as vantagens ambientais e econômicas dos pavimentos de concreto, salientando o seu potencial competitivo em relação aos

pavimentos asfálticos, o presente trabalho visa apontá-lo como alternativa mais indicada para melhorar a qualidade das estradas brasileiras, proporcionando uma maior segurança aos seus usuários, além de contribuir para difundir o elemento construtivo em questão de forma sustentável.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Apresentar através de pesquisa bibliográfica as vantagens do emprego de revestimento de concreto (pavimento rígido) na pavimentação e restauração de vias brasileiras avaliando a viabilidade técnica e econômica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Pesquisar a versatilidade do concreto na aplicação de pavimentos rígidos, que pode ser utilizado em aeroportos, estacionamentos, instalações industriais, rodovias, perimetrais, marginais, grandes avenidas, corredores exclusivos de ônibus, BRTS, terminais rodoviários e de cargas, pontes, túneis, e pátios de containers;
- Mostrar que, em determinadas situações de tráfego pesado e intenso o pavimento de concreto tem uma relação custo/benefício maior que o pavimento flexível;
- Apontar os benefícios da adoção de práticas sustentáveis ao empregar o revestimento de concreto (pavimento rígido).

3 JUSTIFICATIVA

A atual situação da infraestrutura rodoviária brasileira é considerada crítica. Grande parcela das rodovias em operação no país têm seus pavimentos comprometidos a ponto de causar algum desconforto, insegurança e/ou danos aos usuários.

A Pesquisa CNT (Confederação Nacional dos Transportes) de Rodovias de 2014 apresenta seus resultados separando as rodovias sob os dois tipos de gestão utilizados no país: pública ou privada. Dos 98.475 km de rodovias avaliadas, 79.515 km (80,7%) estão sob gestão pública e 18.960 km (19,3%) estão concedidos. Na classificação em relação ao estado dos pavimentos, 56,9% das rodovias sob gestão pública foram classificadas com Regular, Ruim ou Péssimo, 35,6% em Ótimo e 7,5% como Bom. No caso da extensão concedida, 15.072 km, (79,5%) foram avaliadas como Ótimo ou Bom, já os demais 20,5% foram classificados como Regular, Ruim ou Péssimo. (PESQUISA CNT DE RODOVIAS, 2014).

Essa pesquisa da CNT revela que a forma de gestão de rodovias tem impacto direto na qualidade da sua infraestrutura e que o aprimoramento dos mecanismos voltados à modernização da malha rodoviária é essencial para impulsionar a atividade econômica e o desenvolvimento nacional.

A má condição da malha rodoviária, sinalização precária ou inexistente e o reduzido número de manutenções para a melhoria da qualidade das rodovias comprometem a competitividade do país, além de se tornarem perigosas produzindo mortes que representam uma guerra do Iraque por ano.

De acordo com o Jornal O Globo, observa-se que, no ano de 2011, a ocorrência de óbitos de jovens nas vias brasileiras ultrapassou a quantidade de falecimentos em decorrência de homicídios em três estados brasileiros: São Paulo, Santa Catarina e Tocantins. (O GLOBO, 2011).

As estatísticas da última década têm feito ingressar o Brasil no nada recomendável grupo de países do mundo de elevado número de acidentes e de mortalidade em suas vias públicas: quarto lugar entre 101 países na população total; sétimo na população jovem. (WAISELFISZ, 2014, p. 159)

Tendo em vista o alto grau de relevância que o modal rodoviário representa no transporte brasileiro, nota-se a necessidade cada vez maior de uma infraestrutura adequada que permita o pleno desenvolvimento do país.

As necessidades de infraestrutura não são atendidas com os recursos empregados. A qualidade do pavimento interfere diretamente no desempenho do usuário durante a viagem e em custos operacionais, como no desgaste dos veículos e consumo de combustível. Irregularidades, buracos, trechos destruídos e ausência de acostamento são fatores que podem elevar o risco de acidentes.

Os pavimentos de concreto possuem uma vida útil superior a 20 anos. Há históricos de pavimentos com mais de 50 anos em pleno funcionamento, prestando ainda excelentes serviços. Esse tipo de revestimento é perfeitamente capaz de suportar tráfego intenso, pesado e repetitivo e apresentam baixos custos de manutenção. Além disso, o revestimento de concreto proporciona maior visibilidade ao motorista principalmente à noite e em dias de chuva, e necessita de uma distância de freagem menor e reduz a aquaplanagem. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2012).

Neste trabalho serão abordados os pavimentos de concreto como alternativa para melhorar a qualidade das estradas brasileiras visando contribuir para a divulgação das vantagens do pavimento rígido, visto que há poucos trabalhos referentes a esse tema disponível, e, dentro das possibilidades, uma das mais recomendadas para atender as rigorosas exigências ambientais determinísticas para a aprovação de projetos.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 DEFINIÇÃO DE PAVIMENTO

Segundo a ABNT NBR 7207/82, o pavimento é uma estrutura construída após a terraplanagem e destinada econômica e simultaneamente, em seu conjunto, a resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego, melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança, resistir aos esforços horizontais que nele atuam tornando mais durável a superfície de rolamento.

O pavimento é constituído de camadas em que materiais de diferentes resistências e deformabilidades são colocadas em contato resultando num elevado grau de complexidade de cálculo de tensões/deformações atuantes devido as cargas impostas pelo tráfego (MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO DO DNIT, 2006).

Para o usuário, o pavimento deve ser uma superfície capaz de suportar e resistir os esforços oriundos do tráfego de veículos, garantindo conforto e segurança.

4.1.1 Tipos de pavimento

Do ponto de vista estrutural e funcional, os pavimentos rodoviários são classificados tradicionalmente em pavimentos de concreto de cimento Portland (ou simplesmente concreto) e pavimentos asfálticos, para indicar o tipo de revestimento. (BERNUCCI et al., 2010).

Os pavimentos asfálticos normalmente são constituídos de revestimento betuminoso e suas camadas não trabalham à tração, enquanto que os de concreto são formados por associação de placas pouco deformáveis capazes de suportar os esforços de tração.

4.2 PAVIMENTO DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND

Os pavimentos de concreto são aqueles em que o revestimento é uma placa de concreto de cimento Portland que serve como camada de rolamento e base do pavimento. A composição do concreto é formada por uma mistura de alto consumo de cimento, areia, agregado graúdo e água distribuído numa camada devidamente adensada.

As placas podem ou não ser armadas, com barras de aço em situações especiais ou quando se tem uma limitação de espessura das placas. Para Silva e Carneiro (2014) pode-se destacar dentre os vários tipos de pavimentos de concreto de cimento Portland:

- Pavimento de Concreto Simples: dotado de placas de concreto simples separadas por juntas moldadas ou serradas, podendo ou não conter dispositivos de transferência de carga.
- Pavimento de Concreto com Armadura Descontínua: sua armadura é destinada, exclusivamente, a combater a fissuração originada pela retração do concreto. As barras de aço são geralmente colocadas a 5 cm da superfície e localizadas em cada junta transversal e longitudinal do pavimento.
- Pavimento de Concreto Continuamente Armado: apresenta armadura longitudinal contínua sem a presença de juntas transversais intermediárias de expansão ou contração. É usualmente empregado na construção de pavimentos de aeroportos.
- Pavimento de Concreto Estruturalmente Armado: possui barras de transferência e telas de aço distribuídas na parte superior e inferior da placa. A função essencial do aço é de combater as tensões geradas pelo carregamento.
- Pavimento de Concreto Protendido: empregado principalmente em pavimentos de aeroportos e pisos industriais pesados. Há grande redução da espessura necessária de concreto.
- Pavimento de Concreto com Fibras: pavimento composto de placas de concreto com adição de fibras de aço ou poliméricas – nylon e

polipropileno. Apresenta maior resistência à fissuração, ao impacto e ao desgaste, além de possuir maior ductilidade.

- Whitetopping: constitui na construção de pavimento de concreto apoiado sobre pavimento asfáltico. É uma solução para reabilitação de pavimentos asfálticos já existentes.

No Brasil, adota-se o pavimento de concreto simples com barras de transferência e o método de dimensionamento do projeto é o da PCA 84 (Portland Cement Association 84), adotado pelo DNIT, e mais usado no mundo inteiro.

4.3 CONTEXTO HISTÓRICO

O primeiro pavimento de concreto foi construído em 1893, pelo engenheiro químico George Bartolomeu, em Bellefontaine, Ohio nos EUA. Tal estrutura possuía na sua composição agregado mais resistente na camada superior para que não houvesse desgaste nas ferraduras, com ranhuras a cada 10 cm para impedir que os animais escorregassem. A única diferença para o concreto utilizado nos dias de hoje, é que no cimento utilizado na época, era um cimento químico, de laboratório, e o atual é portland. Este pavimento existe até hoje, com mais de 100 anos de vida útil e está tombado pelo patrimônio da humanidade. Pode-se considerar a primeira concessão rodoviária que se tem notícia, já que a prefeitura de Bellefontaine, na ocasião afirmou que remuneraria o gasto com a pavimentação, se esta durasse pelo menos 5 anos. Isto de fato ocorreu e o valor foi reembolsado.

Desde então, essa técnica passou a ser aprimorada e difundida no mundo com a execução de diversas obras como, em 1909, Wayne County - "First mile", em 1910 a Grand Forks, ND, em 1920 a Marcopa Country (AZ- 255 Km).

No Brasil, o primeiro trecho de estrada pavimentada foi a União e Indústria (entre Petrópolis e Juiz de Fora) em 1861 com a presença de Dom Pedro II. Em 1925, as ruas da cidade de Pelotas (RS) foram assim pavimentadas. Em 1922, a Estrada do Caminho do Mar ou Estrada Velha de Santos (Figura 2), no estado São

Paulo, começou a ser pavimentada em concreto, sendo concluída em 1926. Em 1929, a Estrada de Itaipava, no Rio de Janeiro.



Figura 1: Caminhos do Mar – primeira estrada pavimentada com concreto na América Latina.

Fonte: ABCP (2009)

Devido às suas características de resistência, o concreto é largamente utilizado em rodovias na América, Ásia, África, Oceania e Europa. Nas rodovias interestaduais americanas, o uso do concreto chega a 30% e, nos perímetros urbanos, 38% das vias são de concreto. (DIAS, 2003, p. 01)

4.3.1 Pavimento de concreto no Brasil

Existem no Brasil rodovias pavimentadas com revestimento de concreto com 70 anos que estão em pleno funcionamento. Em 1936, a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), foi fundada pela crescente indústria de cimento, fundamental para o desenvolvimento do pavimento de concreto no Brasil.

Estrada	Area construida (mil m ²)
Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER)	
Estrada Rio-Petrópolis (RJ)	112,00
Estrada Rio-São Paulo (RJ)	100,00
Estrada Itaipava-Teresópolis (RJ)	192,00
Rodovia BR 1 – Trecho Vigário Geral-Pilar (RJ)	12,00
Rodovia BR 25 – Trecho Jaboatão – Morena (PE)	14,00
Prefeitura do Distrito Federal (PDF)	
Caminho das Canoas	55,00
Estrada da Gávea Pequena	45,00
Estrada das Furnas	16,00
Estrada da Pedra Bonita	10,00
Estrada Paineiras-Corcovado	40,00
Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo (DER-SP)	
Estrada do Mar	42,00
Via Anchieta	26,00
Prefeitura Municipal de São Paulo	
Auto Estrada (trecho Aeroporto de Congonhas-rua Manguieras)	19,20
Estrada de São Miguel	4,32
Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do Estado do Rio Grande do Sul (DAER)	
Estrada Canoas-São Leopoldo	71,28
Estrada Ponte Cachoeirinha-Gravatal	43,23
Estrada São Borja-Rio Uruguai	45,60
Prefeitura de Porto Alegre (RS)	
Estrada passo da Areia	6,68
Estrada da Pedreira	5,48
Diretoria de Estradas de Rodagem do Estado da Bahia	
Estrada Santo Amaro – Tanque Senzala	36,70
Estrada Salvador – Feira de Santana	30,00
Diretoria de Viação e Obras Públicas do Estado de Pernambuco	
Estrada Recife – Jaboatão	39,65
Estrada de Ibura	11,00
Diretoria de Viação e Obras Públicas do Estado do Ceará	
Estrada Fortaleza-Porongaba	24,00

Figura 2: Pavimentos rodoviários construídos em concreto no Brasil entre 1926 a 1949

Fonte: Torres, Canabro e Francisco (2005)

Empregou-se muito os pavimentos de concreto até os anos 50. Nos anos 40, foram construídos com essa técnica aeroportos no NE, aeroportos Santos Dumont (RJ) e Congonhas (SP), Av. Edson Passos (RJ), Rodovias Anchieta e Anhanguera (SP). É também constituída de concreto, a estrada do Corcovado (Figura 1), construída em 1943, com destino ao Cristo Redentor, no Rio de Janeiro.

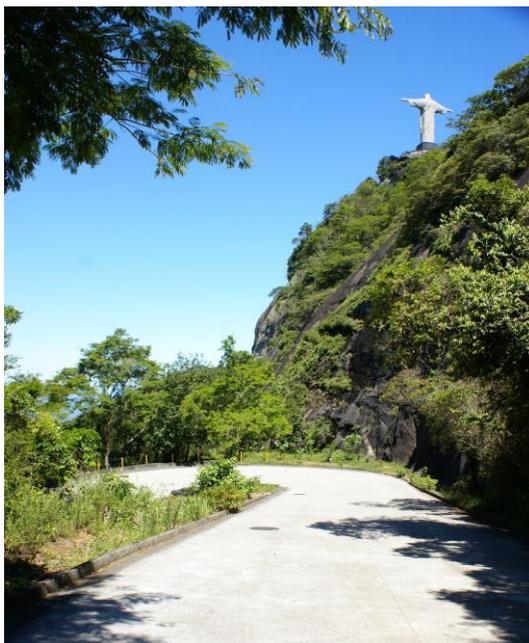


Figura 3: Estrada do Corcovado

Fonte: ABCP (2009)

Na década de 50, foram pavimentadas vias urbanas no Rio de Janeiro, estradas em Pernambuco e na Paraíba. Nos anos 60, estradas Rio-Petrópolis, Rio-Teresópolis, Itaipava-Teresópolis, todas no Rio de Janeiro, além de vias urbanas em Porto Alegre, Rio Grande do Sul.



Figura 4: BR-116 (Serra de Teresópolis/RJ) e BR 040 (Serra de Petrópolis/RJ), respectivamente
Fonte: ABCP (2009)

Já nos anos 70 houve a interligação Anchieta-Imigrantes, rodovia dos Imigrantes, ambas em São Paulo, rodovia Sapucaia-Gravataí no Rio Grande do Sul

e o aeroporto do Galeão no Rio de Janeiro. A Via Expressa de Belo Horizonte (MG), Aeroportos de Cumbica (SP) e Confins (BH) foram assim pavimentadas nos anos 80.



**Figura 5: Rodovia dos Imigrantes/SP (à esquerda) e Interligação Anchieta Imigrantes/SP (superior e inferior, à direita)
Fonte: ABCP (2009)**

Na década de 90, ocorreu o ressurgimento/expansão do seu uso no Brasil. Atualmente, seu potencial competitivo é mais difundido; existem bons profissionais e equipamentos especializados, a execução tornou-se simples e há prática de adoção de procedimentos e custos pelos órgãos de transporte.

Nos últimos 20 anos, foram desenvolvidas 43 normas e procedimentos para pavimentos à base de concreto, 33 manuais e melhores práticas.

4.4 PRINCIPAIS OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO EM CONCRETO NO BRASIL

O concreto é um material versátil que pode ser utilizado como revestimento de vias públicas, portos, aeroportos e em modernas estradas.

4.4.1 Rodoviárias

4.4.1.1 Rodovia Presidente Dutra

A rodovia Presidente Dutra ou simplesmente Via Dutra possui 402 km de extensão e faz a ligação entre as cidades do Rio de Janeiro e São Paulo. Outras 34 cidades são cortadas pela rodovia que também é a principal ligação entre o nordeste e o sul do Brasil. É considerada a estrada de maior importância do país por fazer a ligação entre as duas principais capitais do Brasil e por cruzar o Vale do Paraíba, uma das regiões brasileiras mais ricas.

Sua obra foi iniciada no primeiro mandato do presidente Getúlio Vargas (1930- 1945), mas teve o seu processo acelerado durante a gestão do general Dutra (1946- 1951). O revestimento da pista era constituído de trechos de concreto cimento, parte de concreto asfáltico e uma outra em macadame betuminoso. O traçado da pista foi redesenhado e retificado, aproveitando poucos quilômetros do antigo modelo, diminuindo os aclives e declives e suavizando as curvas. Com isso foi gerada uma economia de 93km durante o percurso do trajeto entre a Praça do Mauá (RJ) e a praça do Correio (SP), e, conseqüentemente, uma substancial diminuição de 50% do tempo de viagem. (CCR NOVA DUTRA)

Entre a Parada de Lucas e o Morro Agudo a pavimentação foi iniciada após a instituição da Comissão Especial, recebendo concreto de cimento portland, nas duas pistas, ao longo dos 21 km. No trecho entre a ponte Guandu-Açú e o Monumento Rodoviário com 7,5 km, pista única de 7,40 m no mesmo material, aproveitando

integralmente o trecho antigo. E nos 8,5 km próximos a Rezende, a 1,5 km do Rio Paraíba, em Lavrinhas, o revestimento da pista única de 7 m também foi feito em concreto de cimento. (ABCP, 2009)

Desde 1996, através do Programa de Concessões e Rodovias Federais, a CCR assumiu a administração da rodovia. Até dezembro de 2014 a empresa havia investido 4,6 bilhões de reais em obras e equipamentos e 6,6 bilhões em operações modernizando toda a sua estrutura, permitindo uma maior fluidez de tráfego. (CCR NOVA DUTRA)



Figura 6: Rodovia Presidente Dutra
Fonte: ABCP (2009)

4.4.1.2 Rodovia dos Imigrantes

A Rodovia dos Imigrantes (SP 160) liga a Baixada Santista ao Planalto, através de 58,54 km, passando pelos municípios de São Paulo, Diadema, São Bernardo do Campo, Cubatão, São Vicente e Praia Grande. É a principal via de acesso da cidade São Paulo à Baixada Santista e ao litoral sul paulista, possuindo um tráfego intenso de veículos, que se intensifica no verão e em feriados. A partir de sua entrega ao tráfego, a Imigrantes passou a compor, juntamente com a Via Anchieta, o Sistema Anchieta-Imigrantes, sob administração da DERSA (Desenvolvimento Rodoviário S.A.). Como parte do Programa de Concessões do Governo do Estado, desde 1998, o sistema passou a ser administrado pela concessionária Ecovias dos Imigrantes, por um período de 20 anos. (DER-SP)

Desde 1962, o DER estudava uma maneira de aumentar a capacidade da Via Anchieta, que já não sustentava tamanho tráfego, podendo vir à colapso. Devido as características e exigências técnicas, os responsáveis pela sua construção optaram pela pavimentação em concreto, com placas de revestimento com 22,5 cm de espessura, 3,5 m de largura, comprimento de 6 m e juntas a cada 4 metros com profundidade de 6 mm.

No final da década de 70 foram desenvolvidos pela Figueiredo Ferraz os projetos da primeira pista e da estrada de serviço, resguardando as condições geológicas, geotécnicas e ambientais então vigentes. Em 1986, a mesma empresa foi contratada para criar o projeto básico da pista descendente, buscando atender os seguintes quesitos: proteção às nascentes e projeto de drenagem de águas pluviais.

Em 2002, foi inaugurada a segunda pista da Rodovia Imigrantes que possui 21 km de extensão e desnível de 700 metros em área de preservação da Mata Atlântica (Parque Estadual da Serra do Mar). Sua ampliação gerou um imenso desafio ecológico entre os envolvidos que se viram obrigados a adequarem as características técnicas da rodovia às exigências da legislação ambiental, possibilitando uma redução de 40 vezes o impacto à Mata Atlântica, se comparada a primeira pista. (FIGUEIREDO FERRAZ, 2012)

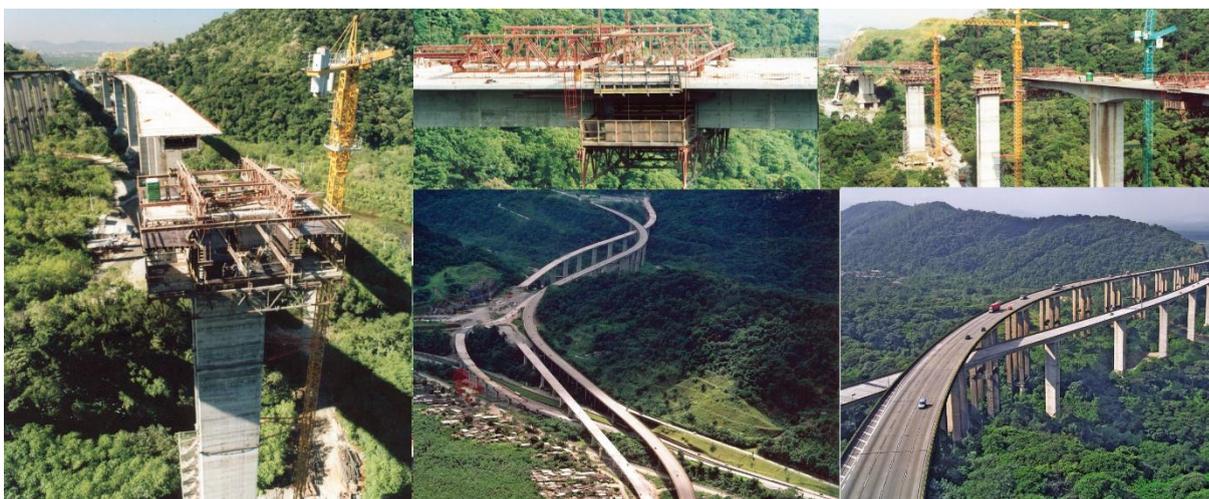


Figura 7: Construção da Rodovia Imigrantes
Fonte: Figueiredo Ferraz (2012)

4.4.1.3 Rodoanel Mario Covas

Segundo o Governo do Estado de São Paulo, o Rodoanel Mário Covas, também conhecido como Rodoanel Metropolitano de São Paulo ou simplesmente Rodoanel é uma autoestrada de 177 quilômetros, duas pistas e seis faixas de rodagem que está sendo construída em torno do centro da Região Metropolitana de São Paulo, interligando as rodovias que chegam à capital: Bandeirantes (SP-348), Anhanguera (SP-330), Castello Branco (SP-280), Raposo Tavares (SP-270), Régis Bittencourt (BR-116), Anchieta (SP-150), Imigrantes (SP-160), Ayrton Senna (SP-70), Fernão Dias (BR-381) e Dutra (BR-116/SP-60).

É considerada a maior obra viária da América do Sul e boa parte dela está sendo pavimentada com concreto. Seu principal objetivo é desviar e distribuir o tráfego de passagem, principalmente de caminhões, para o entorno da região metropolitana de São Paulo e, conseqüentemente, diminuir o tempo gasto nos congestionamentos.

A obra é dividida em quatro trechos: Norte, Sul, Leste e Oeste. O Trecho Norte ainda não foi concluído, e terá 44 quilômetros de extensão passando por São Paulo, Arujá e Guarulhos e ainda terá uma ligação exclusiva com o Aeroporto Internacional de Guarulhos. As obras do trecho Sul foram inicializadas em maio de 2007 e foram concluídas 35 meses depois. São, ao todo, 61,4 quilômetros, sendo 57 km no eixo do Rodoanel e 4,4 km de interligação de acesso ao município de Mauá, construídos como contrapartida ambiental. Com 43,5 quilômetros de extensão, o trecho Leste tem início na interligação com o trecho Sul, na saída da Avenida Papa João XXIII, em Mauá, e termina na Rodovia Presidente Dutra (BR-116), em Arujá, interligando as rodovias SP-66, SP-70 e BR-116. Inaugurado em outubro de 2002, o trecho Oeste possui 32 km de extensão, com início na Av. Raimundo Pereira de Magalhães (SP-332, estrada velha de Campinas) no município de São Paulo e término na rodovia Régis Bittencourt (BR-116), no município de Embu. (PORTAL DO GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO).

Para Mesquita (2001), o Rodoanel é um exemplo relevante de rodovia em pavimento rígido em construção, e considerada como uma das rodovias mais

4.4.1.4 BR 101-NE

A BR-101 atravessa doze estados brasileiros: Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Pavimentada há mais de 30 anos, a BR-101 Nordeste atende a um tráfego sempre crescente e atravessa uma zona litorânea na qual concentra-se a maior estrutura produtiva do Nordeste, englobando a agroindústria canavieira, indústrias e serviço, em especial o turismo. O projeto de Duplicação e Revitalização da BR-101/NE prevê a adequação da capacidade e restauração de 1.048,20 quilômetros da rodovia. O empreendimento beneficiará os estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia. Dentre os principais benefícios proporcionados pelo empreendimento destaca a expansão econômica regional, redução do custo do transporte, integração dos grandes centros consumidores, desenvolvimento do turismo. (BR101NORDESTE)

Em 2005, o Exército Brasileiro recebeu do Governo Federal a missão de realizar a duplicação de 142,5 km do chamado Corredor Nordeste da BR-101/NE, correspondentes a três lotes dos sete existentes, os quais estão situados no Rio Grande do Norte (lote1), Paraíba (lote 2) e Pernambuco (lote 6).

Os trabalhos de duplicação/restauração da rodovia BR 101/NE, nos Estados do Rio Grande do Norte (Lote 1), Paraíba (Lote 5) e Pernambuco (Lote 6), estão sendo executados, respectivamente, pelos 1º, 2º e 3º Batalhões de Engenharia de Construção. Em todos os lotes, a missão consiste em executar a duplicação da rodovia com pavimentação rígida (placa de concreto), restaurar o pavimento existente em toda a extensão de cada lote e implantar vias marginais nos municípios lindeiros à rodovia. O escopo da missão inclui também a construção de novas pontes e viadutos de concreto, restauração e alargamento das pontes existentes, além da construção de passagens inferiores e passarelas. (ASSOCIAÇÃO DOS DIPLOMADOS DA ESCOLA SUPERIOR DE GUERRA).

Para duplicar a BR-101 entre Natal/RN e Palmares/PE, com pistas de concreto, o Governo Federal investe R\$ 2,3 bi com recursos do PAC – Programa de Aceleração do Crescimento. Iniciada pelo DNIT em dezembro de 2005, a obra inclui

a construção de viadutos, passarelas, vias marginais, passagens inferiores, pontes e a reposição de vegetação, dentre outros programas ambientais. (DNIT, 2010).



Figura 10: BR 101 NE (Lote 01/ RN, Lote 03/AL, Lote 06/PE)
Fonte: DEC (Departamento de Engenharia e Construção)

4.4.2 Urbanas

Até o final da 2ª Guerra Mundial, o concreto e os paralelepípedos ou semelhantes eram os tipos de revestimentos mais empregados nas vias urbanas brasileiras. No período pós-guerra a produção de cimento nacional era destinada quase que exclusivamente para a necessidades da construção civil. Além disso, foi desenvolvida nos EUA extensa tecnologia de pavimentos betuminosos. Devido a esses fatores, o emprego de pavimentos asfálticos foi largamente utilizado no país.

Fugindo dessa tradição, Recife é considerada Veneza brasileira, por contar com a maior malha viária em placas de concreto entre as capitais do país. São 78 mil espalhadas por 234 mil metros de extensão. Juntas, elas ocupam uma área de 1,638 milhão de metros quadrados, quase 200 campos de futebol. (DIÁRIO DE PERNAMBUCO).

A capital de Pernambuco usou o pavimento de concreto pela primeira vez em 1935, mas apenas entre 1955 e 1959 que o processo foi consolidado através da construção da avenida Conde da Boa Vista, objetivando a modernização do traçado da cidade ao desafogar o trânsito por possibilitar um tráfego maior de veículos. Outro fator relevante foi a implantação da fábrica de cimento Nassau na capital na década de 50, fazendo de Pernambuco o pioneiro nesse tipo de técnica.

Na década de 40, Porto Alegre (RS), Rio de Janeiro (RJ) e Fortaleza (CE) também aderiram ao concreto como revestimento de suas vias. Em São Paulo (SP), um bom exemplo é o túnel da avenida Nove de Julho, em serviço sob tráfego pesado há mais de 70 anos. Na cidade do Rio de Janeiro, as pistas de muito tráfego e de alta velocidade também foram pavimentadas com concreto armado, como a pista lateral da avenida Brasil, a entrada da rodovia Rio-Petrópolis e avenida Tijuca que faz ligação rápida entre o centro urbano e a região de turismo e moradia.

Em muitas cidades do Brasil, cujo sistema coletivo é baseado em linhas de ônibus expressas, com tráfego segregado e canalizado, o pavimento de concreto está sendo aplicado em grande quantidade. Em Curitiba os corredores de ônibus e vias com tráfego pesado estão recebendo este tipo de pavimentação desde 1996. Hoje, a capital do Paraná se destaca nacionalmente pelo modelo atual de transporte adotado, com uma extensão executada em pavimento de concreto com mais de 60 km.

A parceria e a prefeitura de Curitiba pode ser citada como referência em pavimentação urbana através da implantação da chamada “Linha Verde”. A Linha Verde, construída na antiga BR 116, foi transformada em avenida e corredor de transporte com dez faixas de tráfego, incluindo canaletas de uso exclusivo dos ônibus. As pistas ao lado das canaletas são vias rápidas. Ao lado dessas são acesso ao comércio e bairros. Há ainda duas faixas destinadas à estacionamento. O corredor de transporte da Linha Verde permitiu a implantação de novas linhas de ônibus. A primeira delas reduziu em 17% o tempo de viagem. É importante ressaltar que esta linha tem os primeiros ônibus da América Latina a circular exclusivamente com biocombustível à base de soja.



Figura 11: Corredor de ônibus eixo Leste – Oeste (Curitiba/PR)

Fonte: ABCP (2009)

4.4.3 Portuárias

Os portos são elementos chave para o aumento da competitividade de uma nação por ser responsável pela logística de movimentação de cargas. Apesar disso, por muitos anos, os diversos tipos de pavimentos aplicados no Porto Paranaguá, estiveram aquém das necessidades mínimas de tráfego. Após estudos, o pavimento de concreto foi apontado como a melhor alternativa em função de suas características. Para as obras de adequação, foram utilizados equipamentos de alta performance que, além de agilizar os trabalhos, proporcionaram grande ganho de qualidade ao produto final. (MASCHIO, 2013)

4.4.3 Aeroportuárias

A principal vantagem ao se utilizar os pavimentos de concreto em aeroportos é em razão da sua grande durabilidade. A maioria das áreas de estacionamento de aeronaves de todos os aeroportos de médio e grande porte do Brasil são assim pavimentados. Grande parte desses pavimentos é constituída por estruturas de concreto simples, que apresentam algumas limitações com relação ao tamanho das placas e controle da fissuração. É visto ainda, experiências bem-sucedidas com estruturas de concreto protendido, como as pistas do aeroporto do Rio de Janeiro, os pátios de estacionamento dos aeroportos de Curitiba e Porto Alegre, caracterizando-se pela baixa espessura da placa e elevado espaçamento entre as juntas. Existe também o pavimento estruturalmente armado, que foi empregado com grande sucesso no aeroporto de Estocolmo, funcionando com excelente desempenho por mais de 30 anos. (IBTS, 2004)

As principais pistas de pouso, com estrutura de pavimento em concreto de cimento portland, foram implantadas durante a II Guerra. Com 46 mil m², o Aeroporto Santos Dumont no Rio de Janeiro (RJ), executado em 1940, é mais antigo do Brasil com revestimento de concreto de cimento portland. O Aeroporto de Congonhas foi

inaugurado em 1936 com pista de terra, somente no final de 1940 teve início a sua pavimentação, sendo finalizada em 1950.

Na 2ª Conferência Regional do Atlântico Sul, realizada em 1958 na cidade de SP, o governo brasileiro concordou em preparar pistas de aeroportos de Porto Alegre (RS), São Paulo (SP), Rio de Janeiro (RJ), Recife (PE) e Belém (PA) para operações de jatos da aviação internacional. Campinas e Galeão foram concluídos em 1960 tendo respectivamente 3.280 m por 45 m e 3.300 m por 45 m. No Galeão, a concretagem das placas foi completada em 223 dias consecutivos e exigiu a média de 370 m³ diários de concreto produzido e espalhado. (ABCP, 2009)



Figura 12: Pátio de Aeronaves Aeroporto Afonso Pena, Curitiba - PR
Fonte: Rudloff

4.5 VANTAGENS DE APLICAÇÃO

O concreto é um material fundamental para construção da infraestrutura do país. Nas suas diversas modalidades e formas está presente nas grandes obras de infraestrutura de transportes, saneamento e energia. As grandes e potentes usinas hidrelétricas brasileiras são um grande exemplo de sua aplicação em grandes volumes. A associação desse material a versáteis sistemas estruturais está presente em pontes e viadutos, em rodovias e ferrovias, em aeroportos e terminais portuários, nas estações de tratamento de água e esgoto, em galerias e dutos, túneis, estações de metrô, edifícios.

Com o aumento da demanda de cimento e, visando acompanhar o crescimento do Brasil, as indústrias de cimento estão investindo em novas fábricas e processos logísticos. O mercado brasileiro é um dos mais competitivos do mundo e o setor da construção civil passa por um momento promissor. Dados do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), colocam o país como o sétimo maior produtor de cimento do mundo e o quarto maior consumidor.

4.5.1 Pavimento de elevada durabilidade com baixa manutenção

A escassez de recursos e o número de operações de manutenção insuficientes reforçam a ideia de se buscar um tipo de pavimento que tenha durabilidade e reduzidos custos de manutenção, além de manter a integridade de sua estrutura com o passar do tempo.

Para Carvalho (2012, p.5) o grande diferencial de um pavimento de concreto em relação às demais possibilidades de pavimentação é a durabilidade, que se deve às propriedades estruturais do material: elevada resistência mecânica e ao desgaste, e praticamente impermeável.

Em 1928, foi utilizada essa técnica de pavimentação na Serra de Itaipava – Teresópolis/RJ (BR 495). Rodovia esta que se encontra em serviço até hoje e, segundo o DNIT, possui um VMDa (volume médio diário anual), calculado em 2009 numa extensão de 33,4 km, de 4010 veículos. Esse exemplo ilustra a capacidade de conservação do material, que permanece num ótimo estado, mesmo depois de 80 anos.

Nesse aspecto, os pavimentos de concreto são considerados como a melhor alternativa para a construção de estradas e vias de tráfego intenso e pesados sujeito ao derramamento de óleos e combustível, esforços de aceleração e frenagem como é o caso dos corredores exclusivos de ônibus, avenidas de grande movimento e rodovias interestaduais. Em relação aos aeroportos, existe uma tendência internacional em se pavimentar as pistas com concreto.

Outra característica do concreto é não sofrer grandes deformações plásticas, as indesejadas “trilhas de rodas” ou buracos. Apesar de se ter um investimento maior no período da construção, a longo prazo, o pavimento de concreto torna-se vantajoso pois eliminam-se os gastos em recuperação e manutenções precoces, em operações tapa-buracos e recapeamentos frequentes, economizam-se recursos do poder público e diminuem-se os custos de operação dos veículos.

4.5.2 Rapidez de execução

O domínio brasileiro sobre a tecnologia de concreto é amplo e disseminado nas empresas construtoras. Existem disponíveis no país, equipamentos de última geração que possuem um alto rendimento e produtividade, proporcionando aplicações eficientes e economicamente viáveis em tempo reduzido o que resulta numa menor interrupção de circulação em rodovias e rápida retomada das atividades de linha de produção, o que possibilita que grandes extensões de pistas sejam produzidas por dia.

As vibroacabadoras de fôrmas deslizantes têm alto rendimento e produtividade comprovadas em obras recentes, como no Rodoanel de São Paulo e da BR- 101 NE. Elas são alimentadas por usinas dosadoras e misturadoras, de grande porte, capazes de produzir mais de 100 metros cúbicos de concreto por hora. Trabalhando em velocidade constante, sobre massa de concreto fresco de altura máxima controlada, e dispondo de um conjunto de vibradores de imersão de alta potência, alcança-se um desempenho e acabamento superficial uniforme, atingindo-se excelentes índices de regularidade superficial. O equipamento de fôrmas deslizantes é auxiliado por máquinas aplicadoras de cura e/ou texturizadoras, que, ao mesmo tempo em que dão a textura superficial adequada, aspergem o produto líquido de cura química, na taxa conveniente. Com isso, garante-se que o pavimento de concreto tenha uma superfície durável, antiderrapante, contínua e confortável. (REVISTA CONCRETO E CONSTRUÇÕES, p. 73, 2012)



Figura 13: Vibroacabadora na construção do pavimento de concreto na Nova Dutra

Fonte: Revista Concreto e Construções, 2012

4.5.3 Segurança e conforto de rolamento

O concreto tem como acabamento, uma textura superficial que aumenta significativamente a segurança de rolamento em condições de superfície molhada, sem perda do conforto de rolamento pelo usuário, proporcionando maior segurança, ajudando na eliminação de hidroplanagem, e, proporcionando uma menor distância de frenagem.

As construtoras de rodovias têm conseguido excelente qualidade nas obras em concreto, como, por exemplo, o que vem ocorrendo na BR 101NE, nos lotes de Alagoas e Sergipe, onde os índices de perfil que medem o conforto de rolamento, mostram que a rodovia tem padrão igual às melhores do mundo.

Rush, R. L. comprova em seu trabalho “Safety Considerations of Rutted and Washboarded Asphalt Road” que, em superfície molhada, um veículo com velocidade aproximada de 95 km/h, em pista de concreto, tem a distância de frenagem reduzida em até 40% se comparada a pavimentos asfálticos com presença de trilha de roda.

4.5.4 Economia de energia elétrica

Outra vantagem dos pavimentos de concreto é a economia de energia elétrica. Devido a sua natureza mais reflexiva, um nível de iluminação especificado pode ser conseguido com um menor número de postes e luminárias de alto rendimento gerando, conseqüentemente um menor gasto com iluminação pública. A figura 14 mostra a rodovia Castello Branco em São Paulo, no período noturno, ilustrando como a visibilidade é melhorada em pistas pavimentadas com concreto.



Figura 14: Rodovia Castello Branco, ilustrando estrada de concreto (à esquerda) vs. Asfalto

Fonte: Green Highways – ACPA/EUA (2007)

Gajda e VanGeem (1997) compararam os impactos ambientais dos pavimentos de concreto e asfálticos, comprovando que há uma redução da quantidade necessária de postes de iluminação ao se empregar os pavimentos cimentados em rodovias. Na figura 2 revela a necessidade de postes adicionais e, conseqüentemente, maiores custos de energia anuais para rodovias pavimentadas com asfalto. Ao adotar o revestimento asfáltico, (assumindo um custo inicial de 5.000 dólares; custo de manutenção 100 dólares/poste/ano; custo de energia: 0,0814/kWh e tempo de funcionamento: 4000 horas/poste/ano) nota-se que são necessários 24%

a mais de postes e, logo, os custos iniciais, de manutenção e de energia são 24% mais elevados.

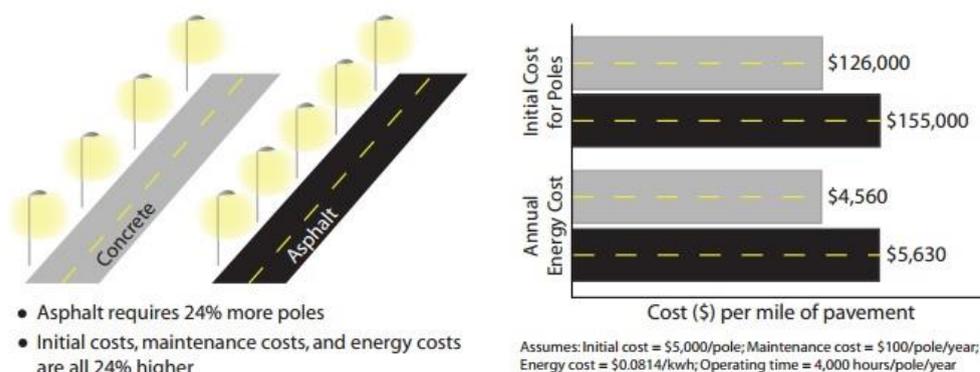


Figura 15: Exemplo de economia de iluminação pública e energia elétrica proporcionada pelo pavimento de concreto

Fonte: Green Highways – ACPA/EUA (2007)

Em estudo realizado por PACE E BECKER (1999) em Buenos Aires – Argentina, foram comparados a energia necessária para iluminar quarteirões constituídos de pavimentos asfálticos e os à base de cimento, ambos em condições similares. Devido à sua excelente capacidade de reflexão da luz, o pavimento de concreto se sobressaiu perante o asfáltico, necessitando de 60% menos iluminação nesses trechos analisados.

Os quarteirões utilizados nessa pesquisa possuíam 100 m de lado, as ruas 9 m de largura, passando por 11 horas por dia iluminados e o custo total de energia era de US\$ 0,20/kWh. Os resultados obtidos foram:

ASFALTO	CONCRETO	RELAÇÃO A/C
5,35 kWh/m ² → US\$ 1,07/m ²	3,35 kWh/m ² → US\$ 0,67/m ²	60%

Através dessa capacidade de reflexão de luz, a visibilidade do motorista é aumentada proporcionando uma maior segurança ao tráfego, principalmente nos períodos noturnos e chuvosos.

4.5.5 Economia de Combustível

Em estudo desenvolvido para a Federal Highway Administration, dos EUA, pela equipe do Prof. John P. Zaniewski, da Universidade Estadual do Arizona, comprovou-se que caminhões pesados economizam até 20% de combustível trafegando em pavimentos de concreto, se comparado com a mesma frota utilizando pavimentos asfálticos, nas mesmas condições ambientais, de geometria da via e demais condições intervenientes. (Vehicle Operating Costs, Fuel Consumption, Pavement Type and Condition Factors, FHWA, 1989).

No Canadá, outro estudo realizado em 2000 pelo National Research Council of Canada, comprova que caminhões podem economizar 11% de combustível em favor do pavimento de concreto. Para tal estudo, a principal razão para essa economia está associada à superfície rígida, indeformável e estável do pavimento de concreto. Isso ocorre em função da menor inércia provocada pelo pavimento de concreto. (National Research Council of Canada, Centre for Surface Transportation Technology: Effect of Pavement Surface on Fuel Consumption, Ottawa, Ontario, Agosto de 2000).

4.6 QUESTÃO AMBIENTAL

A estrutura do pavimento de concreto necessária para atender uma solicitação de tráfego é menor que a correspondente na outra alternativa, resultando em menor agressão ao meio ambiente e menor consumo de agregados naturais a serem extraídos da natureza.

4.6.1 Coprocessamento e adições

O Brasil é hoje o sexto maior produtor e quarto maior consumidor de cimento do mundo. As indústrias cimentícias do país ocupam ainda, uma posição de destaque no cenário internacional sendo atualmente umas das mais bem posicionadas em termos de baixa emissão de carbono e de eficiência energética. Isso se deve a ações iniciadas no final da década de 70, quando o país se encontrava numa crise energética, oriunda da elevação do preço do petróleo, que obrigou o governo a conter sua importação. (ABCP, 2014)

Para um melhor aproveitamento de energia, o setor intensificou o uso de adições e coprocessamento, incorporando resíduos industriais indesejáveis na fabricação do cimento.

De acordo com o SNIC (2012), estudos internacionais apontam que aproximadamente 5% das emissões de CO₂ de origem antrópica no mundo provém da produção de cimento. No Brasil esse valor corresponde a 1,4%.

Nesse cenário, as indústrias do setor se viram obrigadas a fazer da gestão do carbono uma de suas prioridades. Os fornos via seca no Brasil, são responsáveis por aproximadamente 99% da produção de cimento, assegurando uma considerável redução da utilização de combustíveis.

Através do coprocessamento, é realizada a destruição térmica de resíduos industriais indesejáveis de alto poder calorífico, como pneus inservíveis, óleos usados, solventes e graxas, em fornos de cimento sem prejudicar a qualidade final do produto, expandindo o consumo de combustível alternativos, além de substituir e economizar combustíveis. Em muitos casos, é a solução mais eficiente e econômica para a eliminação de resíduos, já que não representam risco à qualidade do cimento Portland e ao meio ambiente.

A indústria de cimento é a que mais reaproveita pneus irreversíveis. No período de 1991 a 2011, foram coprocessados oito milhões de toneladas de resíduos. (FIEPR, 2013)

O cimento Portland é composto de clínquer e de adições, que são misturadas ao clínquer na fase de moagem e que podem variar de um tipo de cimento para o outro, sendo elas um dos fatores que definem o tipo de cimento. (DNIT, 2014)

Na adição, é feita a incorporação de resíduos industriais indesejáveis na produção de cimento, como escória de siderurgia, cinzas volantes e pozolanas, proporcionando os diversos tipos de cimento existentes no mercado.

4.6.2 Redução da temperatura ambiente

O pavimento de concreto é um aliado efetivo da proteção ambiental. Em uma de suas publicações, a Revista Concreto e Construções (2012) relaciona a sua superfície clara, que reflete o calor, como responsável pela redução da temperatura ambiente em cerca de 5°C no entorno, já que não aumenta a temperatura do ar, gerando assim, uma eventual economia de energia elétrica.

O pavimento de concreto foi usado nos pátios de estacionamento de veículos da Ford na Bahia, com o intuito de diminuir o calor no entorno, reduzindo em até 7% o uso do ar condicionado.

4.6.3 Inexistência da lixiviação

O aumento da impermeabilização decorrente do crescimento urbano facilita o aumento da velocidade do escoamento superficial ao longo dos canais, agrava os problemas de ordem estrutural do sistema de drenagem e intensifica o potencial para a ocorrência de inundações.

Para Azevedo (2007), o desempenho insatisfatório do pavimento tem uma de suas causas relacionadas à infiltração de água na estrutura do pavimento. Entretanto, existem diferentes formas em que a água pode provocar danos ao pavimento. Conforme Cedergren (1974), a maioria dos defeitos provocados pelas águas subterrâneas e por percolação apresenta duas causas distintas:

- As partículas de solo migram para um ponto de saída, onde pode ocorrer o fenômeno de “piping”, ou erosão regressiva;
- Níveis de escoamento incontroláveis, causados pela saturação, por existência de fluxos internos, subpressão elevada ou forças de percolação excessivas.

A lixiviação é o processo de perda dos minerais do perfil do solo, causado pela "lavagem" promovida pelas chuvas e pela infiltração de água no solo diminuindo

a sua fertilidade. Como o concreto não promove a ocorrência de águas percoladas capazes de contaminar o lençol freático ou de águas superficiais, não há o risco potencial de contaminar cursos d'água ou mananciais.

4.7 SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS SUSTENTÁVEIS EM CONCRETO

4.7.1 Pavimento permeável de concreto

Pavimentos permeáveis são aqueles que possuem espaços livres na sua estrutura na qual a água pode atravessar, permitindo a infiltração da água e, conseqüentemente, diminuindo as superfícies impermeabilizadas nas cidades. A camada de revestimento dos pavimentos permeáveis nos sistemas à base de cimento pode ser executada utilizando concreto poroso moldado in loco ou peças pré-moldadas de concreto. A camada de base granular funciona como um filtro para a água da chuva, reduzindo a sua contaminação. Em áreas urbanas, as superfícies destinadas às vias de acesso e às áreas de estacionamento ocupam espaços consideráveis, chegando a 30% da área da bacia de drenagem. A utilização de pavimentos permeáveis contribui para a diminuição do escoamento superficial e para problemas de inundações urbanas.

Tais pavimentos podem ser utilizados em:

- Parques e praças;
- Calçadas;
- Condomínios e estacionamentos de carros de passeio.



Figura 16: pavimento permeável de concreto poroso
Fonte: ABCP (2011)

4.7.2 Pavimento Intertravado

É composto por blocos de concreto, assentados sobre camada de areia e travados entre si por contenção lateral. O intertravamento é a capacidade que os blocos para pavimento, também chamados de “pavers”, adquirem para resistir aos movimentos de deslocamento individual, seja ele vertical, horizontal, de rotação ou giração em relação as peças vizinhas. A elevada resistência do concreto confere grande durabilidade aos pavimentos intertravados.

São blocos pré-moldados, resultado de um aperfeiçoamento dos antigos calçamentos de paralelepípedos. Sua homogeneidade e formas bem definidas permitem o assentamento, de maneira que haja transferência de carga de um bloco aos adjacentes, o que alivia as pressões unitárias transmitidas ao sub-leito e a base, reduzindo assim as possibilidades de deformações. Essa característica lhe confere uma forma de trabalho muito similar a dos pavimentos de concreto construídos em placas, sem deixar, porém, de funcionar como pavimento flexível. (SEBRAE, 2012)

Ao se pavimentar com blocos se obtém uma série de vantagens, podendo destacar: resistência e durabilidade (devido a elevada resistência à compressão, à abrasão e à ação de agentes agressivos); facilidade de execução (não são usadas ferramentas especiais para o assentamento podendo ser executada com mão-de-

obra não especializada); utilização imediata (o pavimento pode ser liberado logo após o assentamento); facilidade de manutenção (remoção rápida, com reaproveitamento total das peças, facilitando imensamente as operações de reparos, instalações de canalizações subterrâneas e correção de eventuais recalques); segurança (superfície antiderrapante, oferecendo uma melhor aderência principalmente quando estiver molhado), homogeneidade (rígido controle de qualidade e uniformidade de dimensões no processo de fabricação), estocagem (podem ser estocados por tempo ilimitado, sem deterioração), economia (fundação mais simples para tráfego pouco intenso, um dimensionamento menos oneroso para áreas de trânsito intenso e/ou pesado). (SEBRAE, 2012)



**Figura 17: acima (Orla de São Conrado – Rio de Janeiro/RJ; Praça Municipal – Apucarana/PR; Orla de Boa Viagem - Recife/PE), abaixo (Praça Sete de Setembro – Belo Horizonte/MG; Jundiaí – São Paulo/SP e Campo Grande/MS)
Fonte: ABCP (2010)**

São comumente aplicados em:

- Parques, praças, estacionamentos e calçadas
- Vias e usos diversos.

4.7.3 Pavimento de Concreto

Possuem vasta aplicação e é visto em:

- Calçadas, ciclovias, contornos de cidades e grandes avenidas;
- Corredores exclusivos, BRTs, VLTs, Metro Leve, Terminais
- Estradas com tráfego pesado
- Pistas e pátios de aeronaves
- Portos, perimetrais portuárias e terminais de carga
- Whitetopping e Overlay
- Reciclagem de Pavimentos Flexíveis com Cimento

4.8 CONSERVAÇÃO DOS PAVIMENTOS DE CONCRETO

De acordo com o DNIT (2004), os defeitos mais comuns nos pavimentos rígidos estão normalmente associados ao emprego de técnicas executivas e materiais inadequados, aliados à ausência de uma manutenção rotineira requerida por esse tipo de estrutura. Eles podem ocorrer com diferentes frequências e graus de severidade, que tendem a se agravar com o decorrer do tempo. Além disso, nesse tipo de pavimento é bem mais frequente a ocorrência de defeitos localizados, associados a causas específicas, como a degradação uniforme em todo trecho construído, decorrentes de deficiências de projeto ou de processo de fadiga do concreto, nas proximidades do final da vida útil do pavimento.

Logo, se faz necessário o estabelecimento de índices de serventia ou designativo das condições de uso dos pavimentos para se estimar a sua vida útil, definição de épocas e locais para execução dos reparos, reforços ou reconstrução. Assim, através de inspeções visuais e defeitos dos pavimentos rígidos e determinação de um Índice de Condição do Pavimento (ICP), é possível reabilitar um pavimento, influenciando diretamente no aumento de sua vida útil mantendo-o em condições favoráveis de tráfego.

4.9 COMPETITIVIDADE

PAVIMENTOS RÍGIDOS	PAVIMENTOS FLEXÍVEIS
Estruturas mais delgadas de pavimento.	Estruturas mais espessas (requer maior escavação e movimento de terra) e camadas múltiplas.
Resiste a ataques químicos (óleos, graxas, combustíveis).	É fortemente afetado pelos produtos químicos (óleo, graxas, combustíveis)
Maior distância de visibilidade horizontal, proporcionando maior segurança.	A visibilidade é bastante reduzida durante a noite ou em condições climáticas adversas.
Pequena necessidade de manutenção e conservação, o que mantém o fluxo de veículo sem interrupções.	Necessário que se façam várias manutenções e recuperações, com prejuízos ao tráfego e custos elevados.
Falta de aderência das demarcações viárias, devido ao baixo índice de porosidade.	Melhor aderência das demarcações viárias, devido a textura rugosa e alta temperatura de aplicação (30 vezes mais durável).
Vida útil mínima de 20 anos.	Vida útil máxima de 10 anos (com manutenção).
Maior segurança à derrapagem em função da textura dada à superfície (veículo precisa de 16% menos de distância de frenagem em superfície seca, em superfície molhada 40%).	A superfície é muito escorregadia quando molhada.
De coloração clara, tem melhor difusão de luz. Permite até 30% de economia nas despesas de iluminação da via.	De cor escura, tem baixa reflexão de luz. Maiores gastos com iluminação.
O concreto é feito com materiais locais, a mistura é feita a frio e a energia consumida é a elétrica	O asfalto é derivado de petróleo importado, misturado normalmente a quente, consome óleo combustível e divisas.
Melhores características de drenagem superficial: escoamento melhor a água superficial.	Absorve a umidade com rapidez, e por sua textura superficial, retém a água, o que requer maiores caimentos.

PAVIMENTOS RÍGIDOS**PAVIMENTOS FLEXÍVEIS**

Mantém íntegra a camada de rolamento, não sendo afetado pelas intempéries.

Altas temperaturas ou chuvas abundantes produzem degradação.

Fonte: **BIANCHI, BRITO, CASTRO (2008)**

Através do comparativo de Bianchi, Brito e Castro (2008) evidencia-se os pavimentos de concreto como uma nova opção frente aos pavimentos betuminosos.

Em seu estudo, Mesquita (2001) elaborou uma análise econômica comparativa de custos entre Pavimento Rígido (pavimento de concreto de cimento Portland) e Pavimento Flexível (pavimento de concreto de cimento asfáltico), buscando analisar a viabilidade econômica para a revitalização e preservação das condições da superfície de rolamento, de um pavimento rodoviário, por um período de 20 anos, enfocando o conceito de análise do ciclo de vida útil destes pavimentos. O estudo teve como fonte para coleta de dados experimentais, o Projeto Final de Engenharia, da rodovia BR-262, trecho Miranda-Morro do Azeite - MS.

Nesta mesma pesquisa foram analisados os custos de construção e conservação, para cada alternativa, bem como a evolução dos custos operacionais, decorrentes da degradação das condições superficiais, que cada pavimento apresenta ao longo do período.

Para a obtenção dos custos de construção por quilometro foram considerados: os custos de construção do revestimento (considerando os preços dos materiais, equipamentos e mão de obra), fornecimento e aplicação dos tipos de pavimentos propostos. O Pavimento de Concreto de Cimento Portland/Whitetopping (CCP/WT), com espessura de 17cm, dimensionado para a evolução do tráfego por um período de projeto, de 20 anos, possui um custo de construção de R\$ 334.259,10/Km. Já o Pavimento de Concreto de Cimento Asfáltico/Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CCA/CBUQ), possui um custo bastante inferior em relação ao outro proposto, de R\$ 191.939,40/Km (R\$182.849,40/Km - de regularização e reforço - e R\$9.090,00 de pintura de ligação).

Entretanto, ao realizar uma comparação entre os custos de conservação do pavimento da rodovia, o concreto acaba se sobressaindo perante ao asfalto. Isso ocorre devido ao significativo grau de deterioração da superfície do pavimento de

Concreto Cimento Asfáltico (CCA/CBUQ) com o decorrer do tempo, tornando-se necessárias, periódicas correções da superfície do mesmo.

É importante frisar a diferença entre custo de restauração ou reabilitação para custo de manutenção. Reabilitação do pavimento, são por exemplo, recapeamentos, cuja função é regularizar e/ou reforçar o pavimento, enquanto manutenção é a necessidade de correções rotineiras, que recomponham aos pavimentos as condições mínimas de tráfego, desejáveis.

Como reabilitação do pavimento asfáltico, está prevista a aplicação de uma camada de CBUQ (R\$ 91.424,70/Km), precedida de fresagem (R\$ 14.409,00/Km) e pintura de ligação (R\$ 9.090,00/Km), totalizando, três camadas ao longo dos 20 anos do estudo, com um custo total de R\$ 114.923,70/Km por camada. Como manutenção, está previsto um custo mensal de R\$ 2.628,60/Km, que representa um custo anual de R\$ 31.543,20/Km. Para o pavimento de Concreto de Cimento Portland (CCP/WT), não haverá a necessidade de previsão de custos significativos para conservação desse pavimento no período. Na Figura 12, é representado um resumo dos custos de construção e reabilitações previstas para os pavimentos no decorrer do período do estudo (2000-2020).

Resumo dos Custos de Construção		
Etapas Construtivas	Pavimento	
	Flexível	Rígido
Constr. Inicial	191.939,40	334.259,10
1. Etapa (2007)	114.923,70	0,00
2. Etapa (2014)	114.923,70	0,00
3. Etapa (2020)	114.923,70	0,00
Total	536.710,50	334.259,10

Figura 18: Resumo dos custos de construção de pavimento flexível e rígido em R\$/Km

Fonte: Mesquita (2001)

A Figura 13, representa um resumo dos valores totais passíveis de serem adotados como base para critérios de decisão para escolha do investimento. Nota-se que, a partir das análises econômicas efetuadas, os resultados indicam que a alternativa de utilização do Pavimento Rígido, mostra-se economicamente mais vantajosa, pela sua melhor relação entre custos e benefícios.

Análise Econômica Comparativa – Resumo (20 anos)					
Alternativa	Reduções nos Custos (RS/Km)		POUPANÇA LÍQUIDA		
	Construção	Conservação/Operação	em 1 Km	em 97,389 Km	TIR
	CUSTO	BENEFÍCIO	Valor(RS)	Total(RS)	
CCP/WT(*)	-142.319,70	729.632,91	587.313,21	57.197.846,21	38,35%
CCP/WT(**)	-142.319,70	376.543,94	234.224,24	22.810.864,51	
CCA/CBUQ(*)	142.319,70	-729.632,91	-587.313,21		

Figura 19: Análise econômica comparativa - Resumo
Fonte: Mesquita (2001)

Um outro trabalho realizado por Barbosa Jr. (2014) evidencia também essa competitividade dos pavimentos rígidos frente ao flexíveis a longo prazo, pela sua melhor relação entre custos e benefícios. Dentro do período de 20 anos, os custos de construção e reabilitações previstas para os pavimentos são sintetizados pela Figura 14:

DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	PAVIMENTO			
	PAVIMENTO FLEXÍVEL		PAVIMENTO RÍGIDO	
CONSTRUÇÃO	RS	100.479,21	RS	275.593,28
RESTAURAÇÃO	RS	152.886,69	RS	-
MANUTENÇÃO	RS	43.108,32	RS	-
Valor total	RS	296.474,22	RS	275.593,28

Figura 20: Comparativo econômico entre CAUQ (concreto asfáltico usado à quente) e PCS (pavimento de concreto simples)
Fonte: Barbosa JR (2014)

A partir dos resultados obtidos, observa-se que o pavimento flexível tem um custo inicial competitivo, bem inferior ao do pavimento rígido. Através da análise de conservação do CAUQ e do PCS durante 20 anos, o pavimento rígido se torna economicamente viável. (BARBOSA JR, 2014)

5 METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho, foi realizado um extenso levantamento bibliográfico referente ao uso dos pavimentos de concreto nas estradas de rodagem brasileiras, dando enfoque na viabilidade construtiva e na flexibilidade de sua utilização. Este trabalho visa apresentar a atual situação do uso nacional desse tipo de pavimentação, bem como todas as vantagens construtivas envolvidas nesse processo.

Deste modo, o presente estudo foi desenvolvido embasando-se nas principais fontes especialistas no assunto: Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), Departamento de Estradas de Rodagem (DER), Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT), e demais instituições públicas e privadas.

Para o desenvolvimento da metodologia de pesquisa do trabalho foram realizadas consultas dirigidas ao engenheiro Ronaldo Vizzoni - Gerente de Infraestrutura e Líder de Projeto de Pavimentação da ABCP, que participou efetivamente na elaboração deste, dando suporte técnico e subsídios conceituais.

6 RESULTADOS

Através da realização do presente trabalho, tais resultados foram obtidos acerca do pavimento de concreto e sua utilização no Brasil:

- O concreto é um material que teve um importante papel para impulsionar a evolução das rodovias brasileiras. Entretanto, a partir do período pós-guerra o asfalto passou a ser largamente utilizado, já que produção de cimento priorizava a construção civil. Apenas na década de 90 seu uso foi retomado, passando a ser empregado em importantes estradas.
- Porém, mesmo sendo empregado nas principais vias de acesso do país, está presente em apenas 4% das vias brasileiras.
- Para selecionar o tipo de revestimento de um pavimento é necessário realizar estudos sobre o custo total ao longo de um determinado intervalo de tempo, pois pode haver uma inversão de valores entre as duas alternativas. Assim, não há uma conclusão que possa afirmar que uma alternativa se sobressaia a outra, pois exige-se uma série de comparações a serem levadas em consideração.
- A análise da vida útil de um determinado pavimento é um fator que pode levar a escolha do tipo de revestimento a ser empregado. O ciclo de vida correlacionado com o seu respectivo custo pode ser um fator preponderante no critério de seleção. No presente estudo, verificou-se que os pavimentos de concreto duram mais. Sua vida útil mínima é de 20 anos enquanto, para o asfáltico esse valor cai para metade, possuindo uma durabilidade de 10 anos, sem nenhuma intervenção.
- Em estradas de tráfego intenso e pesado, que há uma necessidade maior de manutenções para manter a fluidez do trânsito e proporcionar segurança aos seus usuários, o concreto pode ser uma excelente alternativa.

- Em termos quantitativos, a construção de um pavimento utilizando o material em questão inicialmente é mais caro. O preço unitário por m² de pavimento asfáltico é consideravelmente inferior ao concreto. Entretanto, a superfície do pavimento asfáltico possui um grau de deterioração maior, sendo necessárias assim de restaurações/reabilitações recorrentes. Por conseguinte, a longo prazo essa situação se transforma, evidenciando a sua competitividade e melhor relação entre custos e benefícios.
- O pavimento de concreto atende às exigências ambientais, já que não necessita de operações tapa-buracos e recapeamentos frequentes, ações que provocam congestionamento e acentuam a emissão de CO₂, principal gás causador do efeito estufa, pelos veículos parados, gerando desperdício de combustível.
- Por ter maior durabilidade e exigir pouca manutenção, resulta em redução de custos e menos impactos ao meio ambiente.
- Além do bom comportamento estrutural e desempenho funcional aqui já mencionados, os pavimentos de concreto satisfazem aos requisitos de sustentabilidade no setor de infraestrutura: usam materiais reciclados e incorporam resíduos industriais indesejáveis na sua fabricação, capturam gás carbônico da atmosfera, reduzem as emissões de dióxido de carbono e os ruídos dos veículos, refletem bem a luz, inexistência da lixiviação e possibilitam a permeabilidade das vias públicas, reduzindo os problemas urbanos das inundações.
- Por ser mais claro, o pavimento de concreto pelo seu alto poder de reflexão, proporciona maior visibilidade ao motorista e economia de energia elétrica na iluminação pública.
- É considerado um pavimento seguro, já que esse tipo de piso permite uma distância de freagem menor, principalmente em dias de chuva, além de não promover aquaplanagem.

7 CONCLUSÃO

Para suportar um tráfego intenso, pesado e repetitivo as rodovias brasileiras necessitam de pavimentação de alta durabilidade e baixo custo de manutenção. Sob este aspecto, o pavimento de concreto é uma alternativa adequada para melhorar a qualidade das estradas, de forma a garantir a segurança dos usuários e a produtividade/competitividade do setor de transporte, visto que é um sistema construtivo de elevada vida útil.

O pavimento de concreto possui características próprias que dão a ele vantagens inegáveis. Possui vasta aplicação, fazendo dele um material versátil. Quando se considera o tempo de utilização o concreto se torna competitivo, já que há uma redução nos custos de manutenção, conseguida pela durabilidade apresentada pelo concreto.

Para sua execução há uma exigência maior no controle de aplicação e cuidados durante o processo construtivo, uma vez que sua recuperação se torna mais complicada quando mal realizado. Entretanto, o setor domina a sua tecnologia de execução, com o emprego de modernos equipamentos e profissionais bem capacitados, proporcionando um resultado de qualidade.

Esse tipo de pavimento tem demonstrado resultados que satisfazem os requisitos de sustentabilidade pois são duráveis, utilizam materiais reciclados, reduzem a emissão de gás carbônico, refletem bem a luz e possibilitam a permeabilidade das vias.

Num cenário em que o verbo pavimentar se tornou sinônimo de asfaltar, é um desafio para o setor cimentício esclarecer a diferença conceitual que existe entre os dois termos, já que a cultura do derivado do petróleo é predominante no país. O usuário não conhece outras opções e acabam preferindo o asfalto porque o Brasil não tem muita tradição com o concreto.

Uma das dificuldades encontradas para a divulgação mais efetiva da tecnologia no Brasil está ligado à baixa prática executiva. Apesar dos esforços, através da realização de cursos profissionalizantes ofertados por entidades especializadas, existe ainda uma grande escassez de conhecimento entre empresas e profissionais da construção. Esforços devem ser feitos para que haja uma maior

disseminação do conhecimento gerado entre pesquisadores, engenheiros e gerentes de obra, colaborando para o crescimento tecnológico da engenharia rodoviária brasileira. A divulgação do sistema construtivo em questão para o público acadêmico é a base para criar e reforçar a cultura de utilização de pavimentos feitos com concreto. Se faz necessário ainda mostrar ao poder público o benefício e o valor agregado ao pavimento de concreto, com o objetivo de evitar desperdícios de recursos, aumentar a qualidade do pavimento de concreto, melhorar a produtividade e imagem das empresas, para que sua aplicação seja amplamente utilizada nas vias do país.

BIBLIOGRAFIA

ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland). **A indústria de cimento e o desenvolvimento do Brasil.** Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/tag/coprocessamento/page/2>>. Acesso em: 30 set. 2015.

ABCP (Associação Brasileira De Cimento Portland). **Governar é abrir estradas: o concreto pavimentando os caminhos na formação de um novo país.** 1. Ed. São Paulo, 2009. 164 p.

ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland). **Manual de pavimento intertravado.** Disponível em: <<http://solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2012/08/ManualPavimentoIntertravado.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2015.

ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland). **Pavimento de concreto é alternativa para melhoria das rodovias.** Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/imprensa/pavimento-de-concreto-e-alternativa-para-melhoria-das-rodovias>>. Acesso em: 29 set. 2015.

ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland). **Sistemas construtivos: pavimentos permeáveis.** Disponível em: <http://ninamartinelli.com.br/downloads/cartilha_pav_intertravado_permeavel.pdf>. Acesso em: 20 out. 2015.

ABEDA (Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos). **Manual básico de emulsões asfálticas.** 2. ed. Rio de Janeiro, 2010. 141 p.

ABREU, José Vanderlei de. **Estudo do concreto de alta resistência compactado com rolo para pavimentação.** 2002. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

ACPA (American Concrete Pavement Association). **Green Highways: Environmentally and Economically Sustainable Concrete Pavements.** Disponível em: <<http://www.pavements4life.com/qds/sr385p.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2015.

ADESG (Associação dos Diplomados da Escola Superior de Guerra). **Engenharia Militar – Obra de Duplicação/Restauração da rodovia BR-101/NE.** Disponível em: <<http://www.adescg.net.br/noticias/engenharia-militar-obra-de-duplicacaorestauracao-da-rodovia-br-101ne>>. Acesso em: 08 out. 2015.

ALMEIDA, Maria Marta A. D. de. **O estado da arte dos pavimentos rodoviários de concreto de cimento Portland no Estado de Pernambuco.** Monografia (Especialização em Engenharia Rodoviária) – Universidade de Pernambuco, Recife, 2005.

AZEVEDO, Ângela M. **Considerações sobre a drenagem superficial na vida útil dos pavimentos rodoviários.** 2007. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia. Universidade de São Paulo, 2007.

BARBOSA, Ésio Curado, Jr. **Comparativo técnico-econômico entre pavimentos flexíveis e pavimentos rígidos.** Projeto final, Publicação ENC. PF 013-2013/02, Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis - GO, 2014

BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros.** 3. ed. Rio de Janeiro: Petrobras: ABEDA, 2006.

BIANCHI, Flávia Regina; BRITO, Isis Raquel Tacla; CASTRO, Verônica Amanda B. **Estudo Comparativo entre pavimento rígido e flexível.** Disponível em: <http://www.ibracon.org.br/eventos/50cbc/pav_apresentacoes/ISIS_RAQUEL.pdf>. Acesso em: 20 out. 2015

BR 101 NORDESTE. Disponível em: < <http://www.br101nordeste.com/>>. Acesso em: 08 out. 2015.

CARVALHO, Marcos D. de. **Pavimento de concreto: reduzindo o custo social.** São Paulo, 2007.

CARVALHO, Marcos D. de. **Vantagens e Benefícios do Whitetopping e do Inlay na reabilitação de pavimentos.** São Paulo, 2012.

CCR NovaDutra. **Sobre a CCR NovaDutra.** Disponível em< <http://www.novadutra.com.br>>. Acesso em: 03 out. 2015.

CEDERGREN, H. R. **Drenagem de pavimentos de rodovias e aeródromos.** Rio de Janeiro, LTC, 1980.

CONCRETO e construções. São Paulo: IBRACON, 2012-.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRABALHADORES EM TRANSPORTES E LOGÍSTICA. Disponível em: <<http://www.cnttl.org.br/modal-rodoviario>>. Acesso em: 08 set. 2015.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES. **Pesquisa CNT de Rodovias 2014: relatório gerencial**. Brasília, 2014. 388 f.

DEC (Departamento de Engenharia e Construção). Disponível em: <<http://www.dec.eb.mil.br/index.php/om-de-engenharia?id=19>>. Acesso em: 08 out. 2015.

DER (Departamento de Estradas de Rodagem). **Histórico de rodovias**. Disponível em: <http://www.der.sp.gov.br/website/Institucional/historico_rodovias.aspx>. Acesso em: 03 set. 2015.

DER/PR (Departamento de Estradas de Rodagem do Paraná). **A evolução do pavimento de concreto no Brasil**. Disponível em: <http://www.der.pr.gov.br/arquivos/File/16encontro_tecnico/Pavimentos_Concreto/Apresentacao.pdf>. Acesso em: 07 out. 2015.

DIARIO DE PERNAMBUCO. **A capital do concreto**. Disponível em: <https://www.ufpe.br/agencia/clipping/index.php?option=com_content&view=article&id=5729:a-capital-do-concreto&catid=35&Itemid=228>. Acesso em: 08 out. 2015.

DIAS, Cláudio. **Aplicação do pavimento rígido no trecho oeste do rodoanel Mário Covas – SP/21**. 2003. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2006.

DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes). **Manual de pavimentos rígidos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2004. 233 p.

DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes). **Tempo de viagem na BR-101/NE foi reduzido em 44% com duplicação**. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/noticias/duplicacao-da-br-101-no-nordeste-reduz-em-44-o-tempo-de-viagem>>. Acesso em: 08 out. 2015.

DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes). **VMDa 2009**. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/download/rodovias/operacoes-rodovitarias/control-de-velocidade/vmda-2009.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2015.

FRANCELINO, Martônio José Marques. **Pavimento de Concreto sobre solos moles: estudo de caso na rodovia BR-101 Nordeste (Lotes 1, 5 e 6)**. 2008. 331 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

FIEPR (Federação das indústrias do estado do Paraná). Disponível em: <<http://www.fiepr.org.br/sindicatos/sindicaf/News21531content204098.shtml>>. Acesso em: 01 out. 2015

HORTA, Luiz Paulo. Washington Luís inaugura a primeira rodovia asfaltada do Brasil. **O Globo**, Rio de Janeiro, 28. Jun. 2013. Disponível em: <<http://acervo.oglobo.globo.com/rio-de-historias/washington-luis-inaugura-primeira-rodovia-asfaltada-do-brasil-8849272>>. Acesso em: 08 set. 2015.

IBTS (Instituto Brasileiro de telas soldadas). **Pavimentos estruturalmente armados para aeroportos**. Disponível em: <http://www.ibts.org.br/pdfs/MANUAL_PAV.pdf>. Acesso em: 08 out. 2015.

MESQUITA, José Carlos Lobato. **Pavimento rígido como alternativa econômica para pavimentação rodoviária. Estudo de caso - Rodovia BR-262, Miranda – Morro do Azeite – MS**. 2001. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES, DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA, COORDENAÇÃO-GERAL DE ESTUDOS E PESQUISAS, INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS. **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro, 2006, 278 p.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES, DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA, COORDENAÇÃO-GERAL DE ESTUDOS E PESQUISAS, INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS. **Manual de Pavimentos Rígidos**. Rio de Janeiro, 2004. 233 p.

PACE E BECKER, **Costo de pavimentos a lo largo de su vida útil**. Buenos Aieres, 1999.

PADULA, Raphael. **Transportes: Fundamentos e propostas para o Brasil**. Brasília, Coronário Editora Gráfica Ltda, 2008.

PORTAL DO ESTADO DO GOVERNO DE SÃO PAULO. Disponível em: <<http://www.saopaulo.sp.gov.br/rodoanel>>. Acesso em: 07 out. 2015.

RHEINHEIMER, Vanessa. **Utilização de ensaios não destrutivos no controle tecnológico de execução de pavimentos de concreto tipo fast track**. 2007. 266 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

RICCI, Gino; BALBO, José Tadeu. **Resistência e elasticidade de concretos compactados com agregados reciclados de construção e de demolição para aplicações em pavimentação**. São Paulo, 2008.

RUDLOFF. **Concreto protendido – Catálogo técnico para visualização na tela**. Disponível em: < <http://www.rudloff.com.br/concreto-protendido/catalogo-tela.php>>. Acesso em: 23 out. 2015.

SILVA, José Eudes M.; CARNEIRO, Luiz Antônio V. **Pavimentos de concreto: histórico, tipos e modelos de fadiga**. Rio de Janeiro, 2014.

SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas). **Indústria de Pavimento Ecológico**. Brasília, 2012. 70 p.

SNIC (Sindicato Nacional da Indústria do Cimento). **Relatório anual de 2012**. Rio de Janeiro, 2013.

VASATA, Ana Cláudia dal pra; JUNIOR, Ildeivan da S. **Análise comparativo entre os sistemas de pavimentação rígida e flexível quanto a sua viabilidade técnica e econômica para aplicação em uma via urbana**. 2013. 105 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013.

WAISELFISZ, Julio Jacobo. **Mapa da Violência 2014: os jovens do Brasil**. Rio de Janeiro, 2014.

WEBER, Demétrio. **Mapa da violência revela que aumento de homicídios no Brasil teve como motor a morte de jovens**. Jornal O Globo, Brasília, 24 fev. 2011. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/politica/mapa-da-violencia-revela-que-aumento-de-homicidios-no-brasil-teve-como-motor-morte-de-jovens-2818343>>. Acesso em: 29 set. 2015.

_____. **Mortes de jovens no trânsito superam homicídios em São Paulo, Santa Catarina e Tocantins**. Jornal O Globo, São Paulo, 24 fev. 2011. Disponível em:

<<http://oglobo.globo.com/brasil/mortes-de-jovens-no-transito-superam-homicidios-em-sao-paulo-santa-catarina-tocantins-2818556>>. Acesso em: 29 set. 2015.

ZANIEWSKI, John P. **Effect of pavement surface type on fuel consumption.** Arizona State University. Disponível em: <https://www.tsp2.org/library-tsp2/uploads/169/Effect_of_Pavement_Surface_Type_on_Fuel_Consumption.pdf>. Acesso em: 20 out. 2015.