



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

MARIA AURILEUDA FREITAS DE VASCONCELOS

PAVIMENTOS URBANOS DE CONCRETO: desafios e aplicações

**PALMAS
2025**

MARIA AURILEUDA FREITAS DE VASCONCELOS

PAVIMENTOS URBANOS DE CONCRETO: desafios e aplicações

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia
Civil do Campus Palmas do Instituto Federal do
Tocantins, como exigência à obtenção do título de
Bacharela em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Gilson Marafiga Pedroso

**PALMAS
2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

V331p Vasconcelos, Maria Aurileuda Freitas de
PAVIMENTOS URBANOS DE CONCRETO: : desafios e aplicações /
Maria Aurileuda Freitas de Vasconcelos. – Palmas, TO, 2025.
135 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus
Palmas, Palmas, TO, 2025.

Orientador: Dr. Gilson Marafiga Pedroso

I. Pavimentos Urbanos de Concreto. 2. Sustentabilidade. 3. Técnicas
Construtivas. I. Marafiga Pedroso, Gilson. II. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e
pesquisa, desde que citada a fonte.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a)
autor(a).**

MARIA AURILEUDA FREITAS DE VASCONCELOS

PAVIMENTOS URBANOS DE CONCRETO: desafios e aplicações

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Campus Palmas do Instituto
Federal do Tocantins, como exigência à obtenção
do título de Bacharela em Engenharia Civil.

Aprovado em: 16/06/2025

BANCA AVALIADORA

Documento assinado digitalmente :
 **GILSON MARAFIGA PEDROSO**
Data: 07/08/2025 15:15:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Gilson Marafiga Pedroso
Orientador
Instituto Federal do Tocantins

Documento assinado digitalmente :
 **RODRIGO ARAUJO FORTES**
Data: 07/08/2025 16:19:23-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Rodrigo Araújo Fortes
Instituto Federal do Tocantins

Documento assinado digitalmente :
 **MOACYR SALLES NETO**
Data: 07/08/2025 16:33:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Moacyr Salles Neto
Instituto Federal do Tocantins

Dedico este trabalho ao meu esposo Silvano, à
minha filha Mariana e ao meu filho Lucas
Eduardo, por toda compreensão e
companheirismo, durante toda a jornada.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela força e coragem dispensadas a mim para vencer mais essa etapa da minha vida e, por ser o meu Amigo inseparável em todos os momentos até a realização desse sonho. À Ele a honra, a glória e o louvor, eternamente.

Ao meu orientador Prof. Dr. Gilson Marafiga Pedroso, por toda dedicação, incentivo e motivação durante a caminhada para conclusão desse trabalho e pela sua postura como profissional.

Ao Coordenador do Curso, Prof. Me. Rodrigo Fortes, por todo empenho e dedicação em atender nossas demandas acadêmicas e, por ter aceitado o convite para participar da banca avaliadora.

Ao Prof. Dr. Moacyr Salles Neto pela participação na banca avaliadora e pelas contribuições para melhoria deste trabalho.

Ao meu esposo, por abdicar comigo de momentos em família, quando precisava estar debruçada nos livros estudando.

À minha filha Mariana, por todas as noites que aguardava eu finalizar meus estudos para ir dormir. Pelos abraços que também acalmavam a minha alma quando eu pensava que não iria conseguir.

Ao meu filho Lucas Eduardo, que certa vez pensei em abandonar a caminhada e ele me disse que não era pra fazer isso, pois depois eu não iria querer voltar. Aquela palavra foi uma injeção de ânimo.

À minha sobrinha Paulla Hortência, que muitas vezes assumiu responsabilidades com os meus filhos para aliviar a minha carga.

À minha mãe Maria Medeiros, por ser uma mulher tão forte, da qual herdei essa força que carrego e, me inspira sempre a ser uma pessoa melhor. És meu exemplo de determinação.

Ao meu pai, José Inácio (*in memorian*), que não chegou a ver a realização desse sonho, mas acompanhou de perto uma grande parte das minhas batalhas para chegar até aqui. Te amarei pra sempre.

A todos os meus irmãos, incluindo o José Arteiro (*in memorian*) que partiu logo que iniciei o curso. Aos meus sobrinhos, muito obrigada por acreditarem no meu potencial.

Ao meu amigo Jonas Feitosa, meu mestre por excelência, por todas as madrugadas que ficávamos estudando disciplinas que nem estava cursando, só pra me ver ser bem-sucedida nas avaliações. Gratidão sempre.

**“Uma infraestrutura urbana bem planejada
pavimenta o caminho para um futuro
sustentável e habitável.”**

Jan Gehl

RESUMO

O presente estudo tem como foco os Pavimentos Urbanos de Concreto – PUC's com ênfase nos desafios e aplicações desse tipo de pavimento. Dessa forma, esse estudo tem como objetivo abordar pontos importantes desse sistema construtivo, que mesmo estando presente no Brasil desde 1825, com a construção da Rodovia Caminho do Mar (SP-148), ainda é pouco difundido e adotado no país, se comparado com países da América Latina como Chile, Argentina e Colômbia. Dentre esses pontos, merecem destaque: suas vantagens em relação aos pavimentos asfálticos, no que tange à durabilidade, vida útil e sustentabilidade; definições; classificações; bem como as técnicas construtivas. Como resultado, o trabalho descreve um passo a passo para a execução dos PUC's, com a utilização de equipamento de pequeno porte, conforme Norma DNIT 047/2004 – ES e outras fontes, como a Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP, começando pela produção das placas de concreto até a finalização da pista, com o corte das juntas. Conclui-se portanto, que os PUC's se apresentam como uma solução viável e eficiente para municípios que buscam pavimentação com vida útil mais longa e com menor necessidade de manutenção.

Palavras-chave: Pavimentos Urbanos de Concreto. Durabilidade. Sustentabilidade. Técnicas Construtivas. Execução.

ABSTRACT

This study focuses on Urban Concrete Pavements (UCPs), with an emphasis on the challenges and applications of this type of pavement. The objective is to address key aspects of this construction system, which, despite its presence in Brazil since 1825 with the construction of the "Caminho do Mar" Highway (SP-148), remains underutilized in the country compared to other Latin American nations such as Chile, Argentina, and Colombia. Among the highlighted aspects are the advantages of UCPs over asphalt pavements, particularly regarding durability, service life, and sustainability; definitions and classifications; as well as construction techniques. As a result, the paper outlines a step-by-step guide for the implementation of UCPs using small-scale equipment, based on the DNIT 047/2004 – ES standard and other sources, such as the Brazilian Portland Cement Association (ABCP). This process includes the production of concrete slabs and concludes with joint cutting. The study concludes that UCPs represent a viable and efficient solution for municipalities seeking long-lasting pavements with reduced maintenance requirements.

Keywords: Urban Concrete Pavements (UCPs), Durability, Sustainability, Construction Techniques, Execution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição das tensões nos pavimentos: rígido, semirrígidos e flexível	21
Figura 2 - Composição dos diversos tipos de pavimentos.....	23
Figura 3 - Bellefontaine, Ohio: Court Ave capturada pelo Google maps, em 2015	24
Figura 4 - Rodovia Caminho do Mar (SP-148), também conhecida como	25
Figura 5 - Marco comemorativo da primeira rodovia de concreto no Rio Grande do Sul	26
Figura 6 - Obras de construção da Faixa de Gravataí no RS, em 1933.....	27
Figura 7 - Comprovante de pagamento de pedágio para transitar pela Faixa de Gravataí, RS ..	27
Figura 8 - Trecho preservado da antiga estrada, parada 72 de Gravataí	28
Figura 9 - Fabricação de placas de concreto pré-moldadas.....	30
Figura 10 - Assentamento de placas de concreto pré-moldadas em calçadas	30
Figura 11 - Execução de pavimento de concreto moldado in loco.....	31
Figura 12 - Estrutura do Pavimento Rígido.....	34
Figura 13 - Compactação do concreto com rolo.....	37
Figura 14 - Restauração em concreto (whitetopping) da PRC-280.....	38
Figura 15 - Ponte na qual foi utilizado o pavimento sobre-laje.....	39
Figura 16 - Corte transversal do revestimento asfáltico e suas camadas.....	43
Figura 17- Representação de um pavimento de concreto simples com barras de transferência dispostas nas fôrmas metálicas de contenção transversal.....	50
Figura 18 - Tipos de juntas longitudinais empregadas em pavimentos de concreto simples	50
Figura 19 - Barras de transferência nas juntas transversais do pavimento	52
Figura 20 - Espaçador treliçado para distribuição das barras de transferência	52
Figura 21 - Esquema de um pavimento armado com uma tela soldada	54
Figura 22 - Esquema de um pavimento estruturalmente armado	54
Figura 23 - Armadura de pavimento estruturalmente armado.....	55
Figura 24 - Concreto com adição de fibras de aço	56
Figura 25 - Concreto reforçado com fibras de aço em seu estado endurecido.....	57
Figura 26 - Macrofibras poliméricas	58
Figura 27 - Concreto com adição de macrofibras polimérica no seu estado endurecido.	58
Figura 28 - Emprego de pavimento de concreto em corredor de ônibus.....	59
Figura 29 - Ruas de tráfego baixo em Jequié (BA)	60
Figura 30 - Avenida requalificada com utilização dos PUC's.	60
Figura 31 - Pavimentos de concreto em loteamentos.	61
Figura 32 - Vias rurais em pavimento de concreto.....	61
Figura 33 - Régua vibratória.....	65
Figura 34 - Treliça vibratória.....	66
Figura 35 - Pavimentadora de rolo vibratório	66
Figura 36 - Pavimentadoras com fôrmas deslizantes	67
Figura 37 - Fôrmas metálicas longitudinais com barras de ligação	68
Figura 38 - Caçamba para distribuição de concreto	69
Figura 39 - Caminhões basculante para distribuição do concreto	69
Figura 40 - Caminhões betoneira para distribuição do concreto	70
Figura 41 - Vibrador de imersão elétrico.....	70
Figura 42 - Vibro-acabadora para pavimentação	71

Figura 43 - Régua alisadora ou acabadora.....	71
Figura 44 - Perfil metálico tipo "T"	72
Figura 45 - Máquina de serrar juntas com disco diamantado.....	72
Figura 46 - Ponte de serviço para pavimentação.....	73
Figura 47 - Rolo de cabo longo duplo	73
Figura 48 - Desempenadeira de madeira	74
Figura 49 - Régua de alumínio para nivelamento.....	74
Figura 50 - Vassouras de fios de nylon	75
Figura 51 - Vassoura de Piaçava	75
Figura 52 - Vassoura de fio plano ("pente de metal").....	75
Figura 53 - Ferramenta com ponta de cinzel	76
Figura 54 - Compressor de ar comprimido.....	76
Figura 55 - Mangueira com bocal para direcionar o jato de ar.....	77
Figura 56 - Desempenadeira de borda com cabo curto	77
Figura 57 - Fôrmas longitudinais apoiadas e fixadas em toda sua extensão	78
Figura 58 - Esquema da fixação das fôrmas com ponteiros de aço ou de ferro	79
Figura 59 - Nível óptico.....	80
Figura 60 - Nível laser	80
Figura 61 - Esquema da verificação do fundo de caixa com gabarito.....	81
Figura 62 - Verificação do fundo de caixa na execução de pavimento de concreto	81
Figura 63 - Sub-base coberta com lona antes da concretagem.....	82
Figura 64 - Aplicação de desmoldante por aspersão	83
Figura 65 - Betoneira estacionária.....	84
Figura 66 - Centrais dosadora e misturadora de concreto	84
Figura 67 - Concreto pré-misturado fora da obra	85
Figura 68 - Adição de macrofibras na esteira junto aos agregados	88
Figura 69 - Adição de macrofibras no caminhão betoneira.....	88
Figura 70 - Resultado da mistura do Concreto Reforçado com Fibras.	89
Figura 71 - Caminhão betoneira para transporte de concreto.....	90
Figura 72 - Caçambas distribuidoras de concreto	91
Figura 73 - Juntas de construção com fôrmas de contenção dividindo as duas pistas	92
Figura 74 - Barras de ligação "chumbadas" no centro do pavimento antes da concretagem.	92
Figura 75 - Disposição das barras de ligação no centro do pavimento para	93
Figura 76 - Espaçador treliçado para distribuição uniforme das barras de ligação	93
Figura 77 - Fixação do espaçador treliçado ao solo	94
Figura 78 - Espaçador treliçado fixado ao solo	94
Figura 79 - Execução de junta de construção transversal.....	95
Figura 80 - Detalhe da instalação da fôrma metálica na junta de construção transversal	95
Figura 81 - Distribuição das barras de transferência entre as juntas de construção	96
Figura 82 - Barras de transferência dispostas em espaçador treliçado	96
Figura 83 - Marcação do local da futura junta serrada, por pontos fixados	97
Figura 84 - Defeitos no pavimento causados pelo mal posicionamento das barras de transferência.....	98
Figura 85 - Representação de juntas transversais sem barras de transferência de cargas	98

Figura 86 - Representação de juntas transversais com barras de transferência de cargas	99
Figura 87 - Tela soldada colocada sobre as barras de transferência ao	100
Figura 88 - Disposição das telas soldadas nas áreas irregulares das placas de concreto.....	100
Figura 89 - Lançamento do concreto lateralmente à faixa	101
Figura 90 - Lançamento do concreto sobre base prepara com tela soldada.	101
Figura 91- Lançamento de concreto com o veículo de ré.....	102
Figura 92 - Bomba de concreto estacionária	102
Figura 93 - Lançamento de concreto com bomba estacionária	103
Figura 94 - Aspecto do concreto reforçado com fibras no momento de seu lançamento.....	103
Figura 95 - Detalhe do Concreto Reforçado com Fibras ao ser lançado na sub-base	104
Figura 96 - Espalhamento do concreto utilizando enxadas, compactação	104
Figura 97 - Espalhamento de concreto pelo equipamento de fôrmas deslizantes	105
Figura 98 - Adensamento do concreto com vibrador de imersão.....	105
Figura 99 - Adensamento do concreto com régua vibratória	106
Figura 100 - Adensamento e nivelamento do concreto com treliça vibratória.....	106
Figura 101 - Ponte de serviço sobre pavimento de concreto em acabamento	107
Figura 102 – Esquema de pontes de serviço.....	107
Figura 103 - Execução e acabamento da junta moldada com perfil	108
Figura 104 - Regularização da superfície longitudinal com régua vibratória	108
Figura 105 - Conferência da regularidade longitudinal com régua de 3 m	109
Figura 106 - Medida da placa de concreto em um ponto no centro da placa	109
Figura 107 - Medida da placa de concreto na lateral, junto à fôrma	110
Figura 108 - Correção das saliências com rodo de corte	110
Figura 109 - Aplicação do float para corrigir a porosidade do concreto	111
Figura 110 - Aplicação da desempenadeira metálica de borda e cabo curto para.....	111
Figura 111 - Acabamento na superfície próxima às fôrmas com desempenadeira de cabo curto	112
Figura 112 - Texturização manual com tiras de lona	113
Figura 113 - Aplicação da faixa de lona no sentido longitudinal do pavimento	113
Figura 114 - Texturização com vassoura de fio de nylon sobre plataforma de apoio	114
Figura 115 - Detalhe da texturização com vassoura de fios de nylon	114
Figura 116 - Acabamento do pavimento com pente metálico	114
Figura 117 - Prática proibida durante o acabamento do concreto	115
Figura 118 - Aplicação do composto químico manualmente	116
Figura 119 - Aplicação do composto químico com a própria máquina pavimentadora.	117
Figura 120 - Detalhe do produto de cura química bem aplicado.....	117
Figura 121 - Execução de cura úmida com manta geotêxtil.....	118
Figura 122 - Aplicação de composto químico e cobertura com lona plástica	118
Figura 123 - Processo de proteção das faces laterais das placas de concreto com cura química	119
Figura 124 - Trânsito impedido sinalizado com cones.....	119
Figura 125 - Pista interditada cercada com telas	120
Figura 126 - Corte de juntas longitudinais	120

Figura 127 - Plano de Corte das juntas transversais	121
Figura 128 - Corte de junta no sentido transversal à pista.....	122
Figura 129 - Corte de junta com serra de disco diamantado	122
Figura 130 - Equipamento de apoio para iluminação.....	123
Figura 131 - Limpeza de junta com ferramenta de ponta de cinzel	124
Figura 132 - Colocação de corpo de apoio no fundo do reservatório do selante	124
Figura 133 - Aplicação de selante a frio com bisnaga do fabricante.....	125
Figura 134 - Utilização de fita crepe de ambos os lados da junta	125
Figura 135 - Retirada do excesso de selante com espátula.....	126
Figura 136 - Selante pré-moldado em PVC.....	126

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Critérios estabelecidos para o concreto conforme o equipamento utilizado	35
Quadro 2 - Outros critérios estabelecidos para o para o concreto conforme o equipamento utilizado	36
Quadro 3 - Comparativo entre os pavimentos rígidos e flexíveis	44
Quadro 4 - Tempo mínimo recomendado para a mistura dos materiais, em função da capacidade da misturadora.....	87

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Problema de pesquisa	17
1.2	Justificativa	17
2	OBJETIVOS	18
2.1	Objetivo geral.....	18
2.2	Objetivos específicos.....	18
3	REVISÃO DE LITERATURA	19
3.1	Definição de pavimento	19
3.2	Função do pavimento	20
3.3	Classificação dos pavimentos.....	20
3.4	Estrutura dos pavimentos	22
3.5	Pavimentos rígidos.....	23
3.5.1	Marco inicial dos pavimentos de concreto no mundo.....	24
3.5.3	Conceito de pavimento rígido	29
3.5.4	Legislação pertinente aos pavimentos rígidos	31
3.5.5	Estrutura do pavimento rígido	33
3.5.5.1	<i>Subleito</i>	33
3.5.5.2	<i>Sub-base</i>	34
3.5.5.3	<i>Revestimento</i>	34
3.5.6	Características do concreto empregado no pavimento rígido	35
3.5.7	Tipos de pavimentos rígidos.....	37
3.5.7.1	<i>Pavimento de concreto convencional ou rolado</i>	37
3.5.7.2	<i>Whitetopping</i>	37
3.5.7.3	<i>Pavimento sobre-laje em tabuleiros de obras de arte especiais</i>	39
3.5.7.4	<i>Pavimento de concreto pré-moldado (PCPM)</i>	39
3.5.7.5	<i>Pavimento de Concreto Protendido (PCPRO)</i>	40
3.6	Pavimentos flexíveis.....	40
3.6.1	Conceito	40
3.6.2	Estrutura do pavimento flexível (ou asfáltico)	42
3.7	Análise comparativa entre os pavimentos rígidos e flexíveis.....	43
3.7.1	Quanto à espessura do pavimento	45
3.7.2	Quanto à resistência à ataques químicos	45
3.7.3	Quanto à visibilidade	45

3.7.4	Quanto à vida útil.....	45
3.7.5	Quanto à segurança à derrapagem	46
3.7.6	Quanto ao material do qual é composto	46
3.7.7	Quanto à resistência às intempéries	46
3.8	Pavimentos Urbanos de Concreto – PUC’s.....	47
3.8.1	Conceito	47
3.8.2	Recomendações referentes aos Pavimentos Urbanos de Concreto.....	47
3.8.3	Tipos de Pavimentos Urbanos de Concreto - PUC’s	48
3.8.3.1	<i>Pavimento de Concreto Simples (PCS).....</i>	49
3.8.3.2	<i>Pavimentos com reforço estrutural.....</i>	53
3.8.3.3	<i>Pavimento de concreto reforçado com fibras (PCRF)</i>	55
3.8.4	Aplicações dos pavimentos de concreto nas cidades.....	59
2.8.4.1	<i>BRT’s e corredores de ônibus</i>	59
3.8.4.2	<i>Ruas de menor tráfego</i>	60
3.8.4.3	<i>Requalificação urbana</i>	60
3.8.4.4	<i>Loteamentos / condomínios.....</i>	61
3.8.4.5	<i>Vicinais/ vias rurais.....</i>	61
2.8.5	Benefícios ambientais dos pavimentos de concreto.....	62
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	63
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	64
5.1	Detalhamento do sistema construtivo dos PUC’s	64
5.1.1	Etapas da construção do pavimento de concreto	64
5.1.2	Equipamentos empregados na execução de pavimentos de concreto em geral..	65
5.1.2.1	<i>Equipamentos de Pequeno Porte</i>	65
5.1.2.2	<i>Fôrmas -Trilho</i>	66
5.1.2.3	<i>Fôrmas Deslizantes</i>	66
5.1.3	Equipamentos empregados na execução dos PUC’s.....	67
5.2	Passo a passo executivo dos PUC’s com equipamentos de pequeno porte	77
5.2.1	Preparação da pista	78
5.2.1.1	<i>Assentamento das fôrmas.....</i>	78
5.2.1.2	<i>Alinhamento e nivelamento das fôrmas</i>	79
5.2.1.3	<i>Verificação do fundo de caixa</i>	81
5.2.1.4	<i>Disposição de película impermeabilizante e isolante</i>	82
5.2.1.5	<i>Aplicação de desmoldante nas fôrmas.....</i>	83

5.2.2	Produção do concreto	84
5.2.2.1	<i>Logística de produção</i>	84
5.2.2.2	<i>Volume de produção versus equipamento</i>	85
5.2.3	Produção do concreto	86
5.2.3.1	<i>Medição dos materiais</i>	86
5.2.3.2	<i>Mistura dos materiais</i>	86
5.2.3.3	<i>Adição de macrofibras no concreto</i>	87
5.2.4	Transporte do concreto	90
5.2.5	Execução das juntas de construção	91
5.2.5.1	<i>Juntas longitudinais de construção com barras de ligação</i>	91
5.2.5.2	<i>Juntas transversais de construção com barras de transferência</i>	94
5.2.6	Armadura e telas	99
5.2.7	Lançamento, espalhamento e adensamento do concreto	101
5.2.7.1	<i>Lançamento</i>	101
5.2.7.2	<i>Espalhamento</i>	104
5.2.7.3	<i>Adensamento</i>	105
5.2.7.4	<i>Nivelamento</i>	108
5.2.7.5	<i>Acabamento do concreto</i>	110
5.2.8	Texturização	112
5.2.9	Cura	116
5.2.10	Desmoldagem	119
5.2.11	Proteção da pista com concreto fresco	119
5.2.12	Corte das juntas	120
5.2.12.1	<i>Juntas longitudinais</i>	120
5.2.12.2	<i>Juntas transversais</i>	121
5.2.13	Selagem das juntas	123
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	126
	REFERÊNCIAS	129

1 INTRODUÇÃO

Os pavimentos urbanos desempenham um papel fundamental na infraestrutura de transporte, garantindo condições seguras e confortáveis para a circulação de veículos e pedestres. Esses sistemas são projetados para resistir às cargas aplicadas, suportar as condições climáticas e oferecer durabilidade, sendo elementos indispensáveis no desenvolvimento das cidades. Entre os principais tipos de pavimentação, destacam-se os pavimentos rígidos, como os de concreto, e os flexíveis, como os asfálticos. Cada um desses tipos apresenta características próprias que os tornam mais adequados para diferentes contextos de aplicação, dependendo de fatores técnicos e econômicos (BERNUCCI *et al.*, 2008).

O crescimento acelerado das áreas urbanas tem exigido cada vez mais a busca por soluções mais eficazes e sustentáveis para a infraestrutura, no que tange à pavimentação. Nesse sentido, os pavimentos de concreto têm se tornado uma alternativa de destaque devido à sua durabilidade, menor necessidade de manutenção e capacidade de atender a um tráfego intenso, além de contribuir para a redução dos impactos ambientais (ABCP, 2024).

O pavimento de concreto possui características estruturais superiores, distribuindo melhor as cargas e reduzindo a deformação ao longo do tempo. Entretanto, esse tipo de pavimento apresenta desafios relacionados ao custo inicial elevado e às exigências técnicas durante sua execução. Por outro lado, os pavimentos flexíveis, amplamente utilizados no Brasil, são mais acessíveis em termos de custo inicial, mas necessitam de manutenção frequente e apresentam maior sensibilidade às condições climáticas (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Nesse sentido, os pavimentos de concreto são uma solução à longo prazo que apresenta vantagens em termos de custos de ciclo de vida e resistência estrutural, sendo particularmente indicados para áreas urbanas de tráfego pesado e moderado (ABCP, 2024).

Este trabalho tem como objetivo explorar o tema “Pavimentos Urbanos de Concreto: Desafios e Aplicações”, abordando a definição e as funções dos pavimentos, suas classificações e as particularidades de cada tipo, além de realizar uma análise comparativa entre os pavimentos de concreto e os pavimentos asfálticos, considerando aspectos como durabilidade, vida útil, sustentabilidade e desempenho. Serão destacadas as vantagens e desvantagens dos pavimentos rígidos e flexíveis, avaliando sua adequação às necessidades urbanas, tendo em vista, por exemplo, que os pavimentos de concreto podem reduzir o impacto ambiental ao diminuir a emissão de CO₂ durante a construção, conforme apontam Júnior e Pinheiro (2024).

1.1 Problema de pesquisa

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) “o pavimento de concreto, incluindo os PUC's, é mais durável que qualquer outra tecnologia do mercado e requer baixa manutenção ao longo de sua vida útil” (ABCP, 2024). Em outras palavras, esse tipo de pavimento torna-se uma opção mais vantajosa que os pavimentos asfálticos, pois paralelo à sua maior durabilidade, está a otimização com gastos em manutenção.

É notório também a grande contribuição dos PUC's no que tange à sustentabilidade, uma vez que proporcionam maior conforto térmico e reduz as *ilhas de calor*, por refletir melhor a radiação solar durante o dia e reduzir em até 4°C a temperatura ambiente e, em até 17°C, a temperatura da superfície das vias e a emissão de dióxido de carbono (CO₂) (ABCP, 2024).

Nesse sentido, os pavimentos de concreto têm sido uma alternativa bastante utilizada em grandes centros urbanos, principalmente em vias de tráfego mais intenso, que exigem maior durabilidade e, com manutenções de baixo custo.

Entretanto, o processo de execução dos Pavimentos Urbanos de Concreto (PUC's) envolve diversas etapas construtivas desenvolvidas com o emprego de técnicas específicas e estabelecidas conforme as normas vigentes. O atendimento às exigências constantes nessas normas é essencial para evitar, problemas como fissuras, desníveis e deformações precoces.

Considerando a relevância dos PUC's e seu processo construtivo, este trabalho busca responder à seguinte questão: "Como descrever e sistematizar o passo a passo das etapas e técnicas construtivas dos Pavimentos Urbanos de Concreto, com foco na garantia de qualidade e eficiência na execução?"

1.2 Justificativa

Os Pavimentos Urbanos de Concreto têm ganhado grande destaque diante do crescente interesse por soluções sustentáveis e de longa vida útil no setor de infraestrutura viária, ao oferecerem uma solução durável, resistente e com baixa necessidade de manutenção em comparação a outros tipos de pavimentos.

No entanto, a execução desses pavimentos exige um controle rigoroso de cada etapa construtiva, uma vez que a ocorrência de falhas na execução do projeto pode comprometer significativamente sua qualidade, funcionalidade e vida útil.

Além disso, muitos desafios observados na execução de pavimentos de concreto, como o surgimento de fissuras, problemas de nivelamento e falhas estruturais, estão diretamente ligados à falta de padronização no processo executivo, bem como à ausência de uma compreensão clara dos requisitos técnicos estabelecidos para cada fase do processo.

Nesse sentido, percebe-se a necessidade de uma descrição detalhada das etapas e técnicas construtivas, visando orientar profissionais e garantir a aplicação correta das normas vigentes e práticas recomendadas.

Esse estudo justifica-se pela necessidade de reunir, sistematizar e apresentar de forma prática as informações voltadas para a execução dos PUC's, contribuindo para a capacitação de profissionais da área, para a redução de erros na execução e, conseqüentemente, para a melhora da qualidade e durabilidade dos pavimentos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Apresentar e sistematizar o passo a passo das etapas e técnicas construtivas dos PUC's, destacando os procedimentos necessários para garantir a eficiência, a qualidade e a durabilidade do pavimento, contribuindo para a disseminação de boas práticas no setor de infraestrutura urbana.

2.2 Objetivos específicos

- a) Realizar um estudo por meio de revisão bibliográfica de publicações referentes aos pavimentos flexíveis e rígidos, abordando tópicos relacionados aos conceitos, estrutura, suas características técnicas, vantagens e desvantagens.
- b) Comparar os pavimentos de concreto e asfáltico, quanto a diversos aspectos, como durabilidade e vida útil.
- c) Descrever as principais características e aplicações dos Pavimentos Urbanos de Concreto no contexto da infraestrutura urbana;
- d) Detalhar cada etapa do processo de execução, desde a preparação da pista até a sua finalização com o corte e tratamento das juntas, evidenciando os cuidados necessários em cada fase;
- e) Identificar as técnicas construtivas recomendadas para garantir a qualidade, a durabilidade e o desempenho funcional do pavimento;
- f) Elaborar um passo a passo que sirva como referência para profissionais envolvidos no planejamento e construção de Pavimentos Urbanos de Concreto.
- g) Apontar os principais desafios enfrentados durante a execução e propor soluções práticas para superá-los;

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Definição de pavimento

A construção de rodovias, ruas e avenidas consiste na execução de uma superfície capaz de suportar o tráfego intenso de veículos, além de resistir aos impactos de fatores climáticos e ao desgaste causado pelo tempo. Para que uma via seja segura, durável e eficiente, é necessário projetar uma estrutura adequada, que garanta estabilidade e conforto durante o uso.

Segundo Balbo (2007 *apud* CAVA, 2021), “pavimentar uma via consiste em uma obra de engenharia civil que tem como objetivo melhorar a condição operacional do tráfego criando uma superfície mais regular, mais aderente e menos ruidosa”. Ainda conforme o autor, pavimento é uma estrutura não perene, composta por camadas de materiais diferentes, compactados a partir do subleito com objetivo de atender condições estruturais e operacionais de tráfego.

Bernucci *et al* (2008) define pavimento como “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 veículos e do clima [...]”. Os autores ainda acrescentam que essa estrutura deve propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança.

Complementando, Senço (2007) afirma que além de ser “um sistema de várias camadas de espessuras finitas que se assenta sobre um semi-espço infinito, deve exercer a função de fundação da estrutura, chamado de subleito”, que nada mais é do que o terreno natural que serve de base para a construção de um pavimento, ou seja, é a primeira camada de uma obra de pavimentação, que recebe toda a carga absorvida pelo pavimento.

Para que o subleito ofereça segurança e tenha uma base sólida, faz-se necessário a compactação, evitando os afundamentos e deformações. Esse reforço pode ser feito com solo selecionado de jazidas ou empréstimos, para melhorar a capacidade estrutural do pavimento.

Reforçando o conceito de pavimento, Santana (1993 *apud* Souza, 2020), afirma que é uma estrutura construída sobre a superfície obtida pelos serviços de terraplanagem que fornece ao usuário segurança e conforto e, estes devem ser conseguidos sob o ponto de vista da engenharia, isto é, com a máxima qualidade e o mínimo custo.

Em outras palavras, estes serviços devem ser executados de acordo com critérios estabelecidos em normas técnicas e manuais, garantindo assim, a segurança e o conforto dos usuários e alcançando altos padrões de qualidade com o menor custo possível.

3.2 Função do pavimento

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da NBR-7207/82: Terminologia e Classificação de Pavimentação, que especifica e define os termos técnicos que devem ser empregados para situar, designar e caracterizar os elementos que interessam à pavimentação, estabelece as seguintes funções para os pavimentos:

- a) Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego;
- b) Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança;
- c) Resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento.

Dentre essas funções, Mallick e El-Korchi (2013 *apud* CAVA, 2021) consideram que a mais importante é “resistir aos esforços aplicados pelos veículos, uma vez que como estrutura, resistir aos esforços, permite com que este pavimento proporcione segurança e boas condições operacionais para os veículos”.

É sabido que o tráfego intenso de veículos pode ocasionar deformações excessivas na estrutura e, conseqüentemente, o surgimento de patologias precocemente, reduzindo assim a sua vida útil das mesmas. Com isso, elevam-se também os custos operacionais, bem como os de manutenção da via.

Portanto, proporcionar uma superfície segura e resistente para o tráfego de veículos e pedestres é uma medida que além de melhorar as condições de tráfego, torna-o mais confortável e seguro. Nesse sentido, contribui para a redução de custos tanto na recuperação e manutenção dessas vias e dos veículos que trafegam por elas, diminuindo assim, o número de acidentes causados pelas más condições dessa estrutura.

3.3 Classificação dos pavimentos

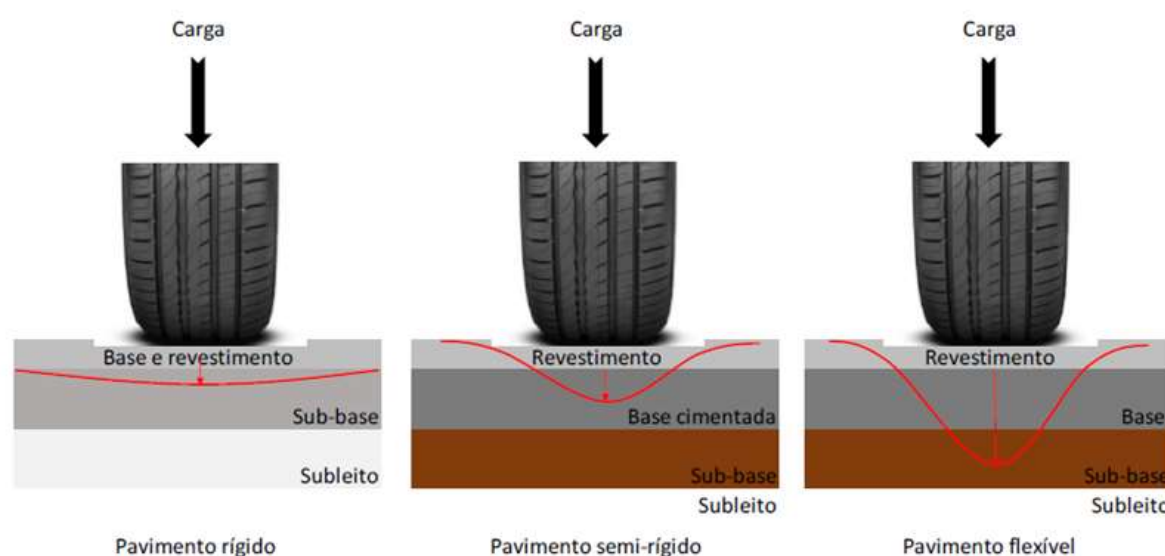
O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), através do Manual de Pavimentação (2006) classifica os pavimentos em flexíveis, semi-rígidos e rígidos, bem como os definem da seguinte forma:

- a) Flexível:** aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas.
- b) Semi-Rígido:** caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias como, por exemplo, por uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica.

c) Rígido: aquele no qual o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado.

De acordo com essas definições, percebe-se que estas estão diretamente relacionadas à rigidez (resistência à deformação) que o mesmo apresenta, conforme representado na Figura 1, quando submetidos aos carregamentos, bem como aos materiais que fazem parte da sua composição.

Figura 1 - Distribuição das tensões nos pavimentos: rígido, semirrígidos e flexível



Fonte: Moura (2024).

Conforme a representação, os pavimentos flexíveis, como o próprio nome já diz, estão mais sujeitos às deformações em suas diversas camadas quando submetidos a carregamentos; os rígidos possuem uma elevada rigidez no revestimento em relação às camadas inferiores, absorvendo com maior facilidade as tensões oriundas dos carregamentos aplicados; já os semi-rígidos, possuem deformabilidade maior que o rígido e menor que o flexível (DNIT, 2006). Portanto, observa-se que quanto mais flexível maior é a deformação ocasionada pelos carregamentos a que estão submetidos.

Ainda conforme o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), a classificação dos pavimentos é essencial, uma vez que servirá de guia para o projeto e a execução de vias, considerando fatores como intensidade de tráfego, custo de construção e manutenção, além das condições ambientais. Vale ressaltar que as características específicas de cada tipo de pavimento devem ser avaliadas de forma criteriosa, garantindo assim maior desempenho e durabilidade.

3.4 Estrutura dos pavimentos

Em geral, os pavimentos são compostos pelas seguintes camadas: subleito, sub-base, base e revestimento. A Terminologia Brasileira, TB – 372/1990 – Serviços de Pavimentação apresenta os seguintes conceitos para cada uma dessas camadas:

- a) Subleito:** Maciço teoricamente infinito que serve de fundação para um pavimento.
- b) Sub-base:** Camada complementar, subjacente a base, que serve como transição entre esta e o subleito, para reduzir a espessura da base.
- c) Base:** Camada destinada a resistir aos esforços verticais oriundos dos veículos, distribuindo-os ao subleito, e sobre a qual se constrói o revestimento. Esta camada pode ser constituída de brita fina, cascalho, pedra amarrada, material estabilizado, concreto asfáltico ou de cimento Portland; substrato construído de material inorgânico não metálico, sobre o qual o revestimento é aplicado.
- d) Revestimento:** Camada que recebe diretamente a ação dos veículos, destinada a melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e segurança e a resistir aos esforços que nele atuam.
- e) Reforço do subleito: uma camada opcional:** Em alguns casos, dependendo da estimativa de tráfego para a estrada e das condições do terreno para a implementação da via, pode ser necessário reforçar o solo, ou seja, o subleito, sendo justamente o solo natural onde a estrada será construída. Essa é, portanto, uma “camada estabilizada granulometricamente, executada sobre o subleito devidamente compactado e regularizado, utilizada quando se torna necessário reduzir espessuras elevadas da camada de sub-base, originadas pela baixa capacidade de suporte do subleito” (DNIT 138/2010 – ES).

A referida norma ainda acrescenta que a estabilização granulométrica nada mais é do que o processo de melhoria da capacidade resistente de materiais “in natura” ou mistura de materiais, no qual se emprega energia de compactação adequada, obtendo-se assim, um produto final que apresente estabilidade e durabilidade.

Em outras palavras, quando o solo apresenta a composição e a estabilidade compatíveis com a pavimentação, não há necessidade de executar o reforço do subleito, porém em situações contrárias, essa camada deve ser executada e, esse reforço pode ser feito com a substituição do solo por solos ou mistura de solos, de qualidade superior à do subleito (DNIT 138/2010 – ES, 2010) ou o acréscimo de materiais que proporcionem maior resistência. A Figura 2 detalha as camadas que compõem cada tipo de pavimento, bem como os materiais constituintes das mesmas.

Figura 2 - Composição dos diversos tipos de pavimentos



Fonte: ABCP (2024).

3.5 Pavimentos rígidos

Nesta seção trataremos sobre os pavimentos rígidos, também denominados de pavimentos de concreto. Aqui serão apresentados o histórico desse tipo de pavimento no Brasil e no mundo, seu conceito, normas pertinentes aos pavimentos de concreto, estrutura do pavimento, bem sua classificação.

3.5.1 Marco inicial dos pavimentos de concreto no mundo

Atualmente, os pavimentos de concreto têm sido bastante difundidos e vem alcançando lugar de destaque na Engenharia Civil, mais precisamente na área de pavimentação e infraestrutura urbana, ocupando cada vez mais espaço nos grandes centros e em pequenas cidades que têm optado por uma pavimentação com maior durabilidade e mais sustentabilidade. No entanto, esse tipo de pavimento começou a ser utilizado ainda no século XIX.

De acordo Corini (1947 *apud* BALBO, 2009) “o primeiro pavimento de concreto havia sido construído na cidade de Grenoble, próxima aos Alpes franceses, em 1876”. Porém, o autor contesta a informação, pois segundo ele, na época, solicitou a um colega que fazia o doutorado nessa cidade para ir à prefeitura, informar-se e registrar uma fotografia da respectiva rua. Feito isso, foi evidenciado que não havia de fato esse pavimento naquela localidade e Balbo (2009) afirma que foi obrigado “a reter a informação de que o primeiro pavimento de concreto foi construído na Main Street (rua principal), em Bellefontaine, Ohio, EUA, em 1891”. Figura 3 representa esse pavimento, que foi executado na então, Court Ave (Avenida do Tribunal) obtida por uma captura do Google Maps, em 2015.

Figura 3 - Bellefontaine, Ohio: Court Ave capturada pelo Google maps, em 2015



Fonte: Soluções para Cidades (2015).

Vizzoni [s.d] confirma essa informação de que o marco inicial desse tipo de pavimento data do século XIX e que o mesmo foi executado pelo farmacêutico *George Bartolomew*, considerado o “Pai do Pavimento de Concreto”. O autor ressalta que o concreto executado por ele era constituído de duas camadas, e continha ranhuras dispostas a cada 10 cm, com o objetivo

de “impedir que os cavalos escorregassem”. As demais ruas que formavam o quarteirão onde estava localizado seu estabelecimento foram pavimentadas até 1893.

De acordo com outras fontes, George *Bartolomew* construiu o pavimento na rua da sua farmácia, uma espécie de concreto rolado, e negociou com o governo ações da obra com a condição do concreto durar cerca de cinco anos. O resultado foi satisfatório, e posteriormente o governo deu continuidade às obras das vias utilizando o pavimento de concreto (SOLUÇÕES PARA CIDADES, 2023).

3.5.2 Pavimentos de concreto no Brasil

No Brasil, a primeira rodovia a receber pavimento de concreto, em 1925, foi a Rodovia Caminho do Mar (SP-148), também conhecida como Estrada Velha de Santos, rodovia brasileira que liga o litoral do estado de São Paulo (Santos-Cubatão) ao planalto paulista (São Paulo, via Região do Grande ABC), representada na Figura 4.

Figura 4 - Rodovia Caminho do Mar (SP-148), também conhecida como



Fonte: Porto (2020).

A base do pavimento de concreto utilizado para pavimentar essa rodovia, era de macadame hidráulico, com 20 cm de espessura; a mistura do concreto era feita em uma betoneira deslocada sobre trilhos, com o material composto na seguinte dosagem: uma barrica de cimento para um metro cúbico de pedra britada, 500 litros de areia e 300 litros de água (BALBO, 2009).

Antes dessa rodovia, a única opção para transportar mercadorias do interior para o porto de Santos era a Calçada do Lorena, que foi em 1792 pavimentada por rochas e por onde o príncipe regente D. Pedro I subiu a serra em direção a São Paulo para proclamar a Independência do Brasil, em 7 de setembro de 1822. A Estrada Velha de Santos foi reaberta em 2002 para a

atividade de visitação ecoturística, e seus 8 km de caminhada revelam um acervo a céu aberto da história do Brasil (CAMINHOS DO MAR, 2024).

Em 22 de abril de 1934 foi inaugurada a Faixa de Gravataí (Figura 5), uma pioneira estrada de concreto, mais especificamente de concreto armado, que conectou de forma mais rápida as cidades de Porto Alegre e Gravataí, no Rio Grande do Sul. A Faixa começava na ponte sobre o Rio Gravataí, no limite de Cachoeirinha com Porto Alegre.

De acordo com Staudt (2024), a firma responsável por essa construção (Figura 6) foi a Dahne, Conceição e Cia, que construiu também, a partir de 1933, outra faixa de cimento que ligou Porto Alegre a São Leopoldo. Nos dois projetos, a estrada ficou com 3m de largura, além de calçamento de 1,20m de pedras irregulares nas laterais.

Figura 5 - Marco comemorativo da primeira rodovia de concreto no Rio Grande do Sul



Fonte: Costa (1933).

Figura 6 - Obras de construção da Faixa de Gravataí no RS, em 1933

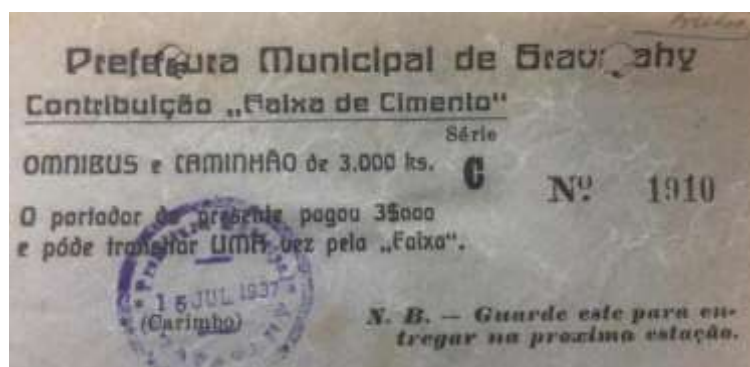


Fonte: Costa (1933)

Na época, o então prefeito, José Loureiro da Silva, foi o grande incentivador da obra, que se iniciou em 9 de fevereiro de 1933, porém ele não estava mais no cargo quando a mesma foi inaugurada.

Para arrecadar recursos para financiar a obra, começou-se a cobrar pedágio (Figura 7), em dois pontos: Cachoeirinha e Gravataí. Para impedir a passagem dos automóveis, foi amarrada uma corrente em árvores. Diante disso, os veículos paravam e só seguiam viagem depois do pagamento — conta o historiador Amon Costa. Nos primeiros anos, o movimento era baixo. Em relatório de 1938, consta que diariamente passavam 20 automóveis, 25 caminhões e 16 ônibus (STAUDT, 2024).

Figura 7 - Comprovante de pagamento de pedágio para transitar pela Faixa de Gravataí, RS



Fonte: Costa (1937).

Ainda conforme o autor, atualmente, no traçado da antiga estrada fica a Avenida Flores da Cunha, em Cachoeirinha e a Avenida Dorival Cândido Luz de Oliveira (Figura 8), em

Gravataí, na qual, na parada 72, aproximadamente 30 metros da estrada de concreto estão preservados ao lado da via.

Figura 8 - Trecho preservado da antiga estrada, parada 72 de Gravataí



Fonte: Costa (2024).

Em 1938, iniciou-se a construção da longa Rodovia BR-232 (atual Rodovia Luiz Gonzaga), entre Recife e Caruaru, com aproximadamente 120 km de extensão, em pista simples.

Penteado (1929 *apud* Balbo, 2009) relata alguns aspectos da construção da estrada na Serra de Petrópolis, no Estado do Rio de Janeiro, com 23 km de extensão no trecho em serra, construída a partir do ano de 1927, totalmente em concreto, com duas faixas de largura de 3,25 m, em pista simples.

De acordo com Silva e Carneiro (2014 *apud* Kuster [s.d]), “até o início da década de 50, o pavimento de concreto foi muito utilizado no Brasil, tanto em vias urbanas quanto em rodovias, porém houve grande retrocesso nessa prática devido alguns fatores de natureza política e econômica”.

Ferreira (2015) afirma que na década de 90, ocorreu o ressurgimento/expansão do seu uso no Brasil e que, 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. Ainda segundo a autora, nos últimos 20 anos, (antes de foram desenvolvidas 43 normas e procedimentos para pavimentos à base de concreto, 33 manuais e melhores práticas.

Em 1936, foi fundada no Brasil, a ABCP, com o objetivo de promover estudos sobre o cimento e suas aplicações. É uma entidade sem fins lucrativos, mantida voluntariamente pela

indústria brasileira do cimento, que compõe seu quadro de associados. Reconhecida nacional e internacionalmente como centro de referência em tecnologia do cimento, a entidade tem usado sua *expertise* para o suporte a grandes obras da engenharia brasileira e para a transferência de tecnologia das mais diversas formas [...] (ABCP, 2024).

Dentre as grandes contribuições que a Associação tem concedido para o desenvolvimento da construção civil no país, estão a promoção de cursos de aperfeiçoamento e formação, seminários e eventos técnicos; parceria com dezenas de universidades, escolas e instituições de pesquisa do país; apoio às indústrias de produtos à base de cimento e a publicação de livros, revistas e documentos técnicos.

3.5.3 Conceito de pavimento rígido

Os pavimentos rígidos, denominados também de pavimentos de concreto, são estruturas formadas por placas de concreto de cimento Portland, projetadas para resistir e distribuir os esforços resultantes do tráfego de veículos, bem como as cargas aplicadas, oferecendo ao usuário uma superfície segura e confortável para a circulação.

Esse tipo de pavimento é constituído por uma camada de concreto armado ou protendido composto por placas de cimento Portland, apoiada sobre uma base granular ou estabilizada. Dentre as principais características desse tipo de pavimento está a elevada resistência à tração e à compressão, absorvendo assim, as tensões provocadas pelo tráfego. A durabilidade média desse tipo de pavimento é de 30 anos, é de fácil manutenção e uma menor necessidade de recapeamento (GUEL, CASTRO e JORGE, 2024).

Balbo (2009) define esse tipo de pavimento como “aqueles cuja camada de rolamento (ou revestimento) é elaborada com concreto (produzido com agregados e ligantes hidráulicos), o que pode ser feito com diversas técnicas de manipulação e elaboração do concreto [...]”.

Dentre as técnicas de manipulação e elaboração mencionadas pelo autor estão a pré-moldagem e a produção *in loco*, cada uma delas com suas particularidades de projeto, formas de execução, operação e manutenção.

Quanto aos pavimentos pré-moldados, estes são constituídos por peças de concreto fabricadas fora do local definitivo de aplicação, geralmente em fábricas ou canteiros preparados, conforme representado na Figura 9.

Figura 9 - Fabricação de placas de concreto pré-moldadas



Fonte: TecnoMor (2024).

Após a fabricação destas e cumprido o tempo de cura, as mesmas são transportadas para o local nos qual serão instaladas, conforme Figura 10.

Figura 10 - Assentamento de placas de concreto pré-moldadas em calçadas



Fonte: ABCP (2024).

Já os pavimentos moldados *in loco*, como o próprio nome já diz, são concretados diretamente no local definitivo da aplicação, conforme Figura 11. Nesse caso, o concreto é lançado, adensado e curado no próprio canteiro de obras.

Figura 11 - Execução de pavimento de concreto moldado in loco



Fonte: Apelmat (2021).

Para Duarte e Peixoto (2023), o pavimento de concreto, aqui denominado pelos autores como pavimento rígido, é um tipo de pavimento utilizado em diversas estradas e vias urbanas. Ele é caracterizado pela sua resistência e durabilidade, sendo muito utilizado em locais de tráfego intenso, como rodovias e avenidas”.

Os autores destacam, portanto, as principais características desse tipo de pavimento, bem como a capacidade de suportar grandes cargas e resistir ao desgaste, tornando-o ideal para locais com alto volume de tráfego.

3.5.4 Legislação pertinente aos pavimentos rígidos

As principais normas e legislações referentes aos pavimentos de concreto no Brasil envolvem diretrizes técnicas sobre o projeto, a execução, os materiais e as condições de desempenho desses pavimentos. Essas normas são elaboradas por organizações como a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e outras entidades que regulam o setor de infraestrutura rodoviária e construção civil, como o DNIT . A seguir são apresentadas algumas dessas normas:

a) ABNT NRB 12655/2015

A ABNT NRB 12655/2015 - Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento é aplicável a concreto de cimento Portland para

estruturas moldadas na obra, estruturas pré-moldadas e componentes estruturais pré-fabricados para edificações e estruturas de engenharia. O concreto pode ser misturado na obra, pré-misturado ou produzido em usina de pré-moldados. Esta Norma estabelece os requisitos para: a) propriedades do concreto fresco e endurecido e suas verificações; b) composição, preparo e controle do concreto; c) aceitação e recebimento do concreto (ABNT, 2015).

b) ABNT NBR 9781/2013

A ABNT NBR 9781/2013 - Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio estabelece os requisitos e métodos de ensaio exigíveis para aceitação de peças de concreto para pavimentação intertravada sujeita ao tráfego de pedestres, de veículos dotados de pneumáticos e áreas de armazenamento de produtos (ABNT, 2013).

c) ABNT NBR 7222:2011

A ABNT NBR 7222:2011 – Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos prescreve o método para determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos (ABNT, 2011).

d) Norma DNIT 047/2004 – ES

A norma DNIT 047/2004 – ES: Pavimento rígido – Execução de pavimento rígido com equipamento de pequeno porte - Especificação de serviço fixa as condições exigíveis para a construção de pavimentos rígidos, de concreto simples de cimento Portland, em estradas de rodagem, utilizando processo mecânico com equipamento de pequeno porte. O documento apresenta também os requisitos concernentes às condições de execução, inspeção, manejo ambiental e critérios de medição (DNIT, 2004).

e) Norma DNIT 048/2004 – ES

A norma DNIT 048/2004 – ES: Pavimento rígido – Execução de pavimento rígido com equipamento de fôrma-trilho – Especificação de serviço fixa as condições exigíveis para a construção de pavimentos rígidos de concreto simples de cimento Portland, em estradas de rodagem, utilizando processo mecânico com equipamento de fôrma-trilho (DNIT, 2004).

f) Norma DNIT 049/2013 – ES

A norma DNIT 049/2013 – ES: Pavimento rígido – Execução de pavimento rígido com equipamento de forma deslizante estabelece a sistemática a ser empregada na execução de pavimentos de concreto de cimento Portland com equipamento de fôrmas deslizantes de acordo com os elementos do projeto ((DNIT, 2013).

g) Norma DNIT 050/2004 – EM

A norma DNIT 050/2004 – EM: Pavimento rígido – Cimento Portland Especificação de material tem como objetivo estabelecer os requisitos mínimos exigíveis no recebimento de cimento Portland destinado à preparação de concreto para uso em pavimentos rígidos de estradas de rodagem (DNIT, 2004).

h) Norma DNIT 068/2004 – ES

A norma DNIT 068/2004 – ES – Pavimento Rígido – Execução de camada superposta de concreto do tipo *whitetopping* por meio mecânico – Especificação de Serviço tem por objetivo estabelecer os procedimentos a serem adotados na construção dos pavimentos rígidos de concreto de cimento Portland do tipo Whitetopping, por processo mecânico, em estradas, vias urbanas, pátios de estacionamento, pisos industriais e docas portuárias.

De acordo com essa norma, em casos especiais, as exigências devem ser complementadas pela fiscalização ou pelo projetista e que os pavimentos de concreto dotados de armadura distribuída contínua ou descontínua não estão incluídos nesta norma, a não ser quando se tratar de placas isoladas, por exemplo as de formato irregular, que necessitem eventualmente, de armadura para combate à fissuração do concreto.

3.5.5 Estrutura do pavimento rígido

A seção 2.4 tratou sobre a estrutura dos pavimentos em geral, identificando todas as camadas que compõem os pavimentos, independentemente do tipo de revestimento, seja rígido ou flexível. Aqui tratar-se-á exclusivamente das camadas que compõem os pavimentos rígidos, a saber: subleito, sub-base e revestimento (placa de concreto).

3.5.5.1 Subleito

De acordo com Balbo (2007), o **subleito** é a camada de solo natural ou compactado que serve de fundação para o pavimento, sendo responsável por suportar e distribuir as cargas provenientes do tráfego para as camadas inferiores do solo. Ainda conforme o autor, o subleito

deve apresentar uma resistência mínima adequada para garantir a estabilidade do pavimento e seu desempenho é avaliado por parâmetros como o CBR (California Bearing Ratio) ou pelo módulo de resiliência.

3.5.5.2 Sub-base

A sub-base é a camada complementar à base que tem a finalidade de reforçar a fundação do pavimento. É composta por materiais granulares ou estabilizados e auxilia no controle de deformações do subleito e na drenagem. Essa camada deve ser utilizada quando não for aconselhável, por circunstâncias técnico-econômicas, executar a base diretamente sobre regularização (DNIT, 2006).

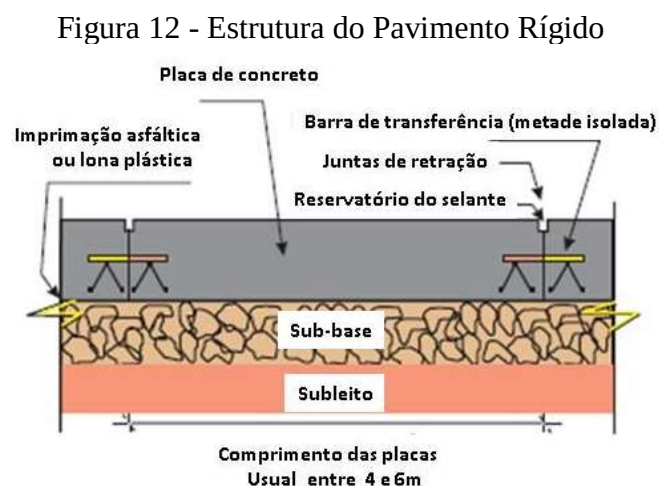
3.5.5.3 Revestimento

A camada de revestimento é a parte superior de um pavimento, cuja função principal é resistir diretamente às cargas do tráfego, oferecendo segurança, conforto e durabilidade aos usuários. Outra função dessa camada é proteger as camadas inferiores contra a ação de intempéries, como infiltração de água e variações térmicas.

De acordo com Motta (2013), o revestimento é a camada que "recebe diretamente as solicitações geradas pelo tráfego, devendo apresentar resistência suficiente para suportar essas cargas e proporcionar boas condições de aderência e regularidade superficial."

Já Balbo (2007) afirma que o revestimento deve atender a requisitos como "resistência ao desgaste, impermeabilidade, regularidade superficial e capacidade de distribuir as tensões para as camadas subjacentes do pavimento."

As camadas que compõem os pavimentos rígidos são, portanto, projetadas para resistir às cargas do tráfego e proporcionar um melhor desempenho, conforme ilustra a Figura 12.



Fonte: Bernucci *et. al.*, (2008).

Na seção 2.8, referente aos PUC's será abordado de forma mais detalhada sobre as juntas de retração e as barras de transferência.

3.5.6 Características do concreto empregado no pavimento rígido

O concreto empregado na execução de pavimentos rígidos deve apresentar a resistência característica à tração na flexão definida no projeto, que geralmente é da ordem de 4,5 MPa ou, como no caso dos pavimentos estruturalmente armados, uma resistência característica à compressão axial, que geralmente é de 30 MPa (DNIT, 2005).

Outra exigência é que deve apresentar uma baixa variação volumétrica, ou seja, um consumo de cimento igual ou acima de 320 kg/m³ de concreto, para que se possa trabalhar de forma compatível com o equipamento a ser empregado tanto no espalhamento, quanto no adensamento e acabamento do concreto, garantindo assim uma maior durabilidade.

Os critérios estabelecidos em normas referentes ao concreto utilizado nos pavimentos rígidos dependem do tipo de equipamento utilizado para a execução deste. Os Quadros 1 e 2 apresenta um resumo desses critérios, que estão estabelecidos nas seguintes normas: DNIT 047/2004 – ES (equipamento de pequeno porte), DNIT 048/2004 – ES (equipamento de fôrma-trilho) e NORMA DNIT 049/2013 – ES (equipamento de fôrmas deslizantes).

Quadro 1 - Critérios estabelecidos para o concreto conforme o equipamento utilizado

Equipamento	Tração na flexão (fctM,k)	Compressão axial equivalente (fck)	Consumo mínimo de cimento:	Relação água / cimento máxima:
De fôrma-trilho e de pequeno porte	Determinada em corpos de prova prismáticos, conforme os procedimentos constantes nas normas NBR 5738 e NBR 12142.	Determinada em corpos-de-prova cilíndricos, conforme os procedimentos constantes nas normas NBR 5738 e NBR 5739.	320Kg/m ³ .	$A/C \leq 0,50 \text{ l/Kg.}$
De fôrmas deslizantes	Determinada em corpos de prova prismáticos, conforme os procedimentos constantes nas normas NBR 5738:2003 e NBR 12142:2010.	A norma não define	350 kg/m ³	$A/C \leq 0,50 \text{ l/kg.}$

Fontes: DNIT (2004;2013).

Quadro 2 - Outros critérios estabelecidos para o para o concreto conforme o equipamento utilizado

Equipamento	Abatimento	Dimensão máxima do agregado	Teor de ar	Exsudação
De fôrma-trilho e de pequeno porte	Determinado conforme a norma NBR NM 67:2020 70mm $\pm$ 10mm.	Não deverá exceder 1/3 da espessura da placa do pavimento ou 50mm, obedecido o menor valor.	Determinado conforme a norma NBR 11686: – $\leq$ 0,5%.	Medida conforme a norma NBR NM 102: – $\leq$ 1,5%.
De fôrmas deslizantes	No máximo igual a 60 mm, (Determinado conforme a norma NBR NM 67:1998) a ser definido em função do equipamento vibroacabador	A dimensão máxima característica do agregado no concreto não deve exceder 1/3 da espessura da placa do pavimento e 38 mm, obedecido ao menor valor.	O teor de ar incorporado, determinado conforme a norma NBR NM 47:2002, deve ser inferior ou igual a 4%.	A norma não define

Fontes: DNIT (2004; 2013).

Fazendo uma análise desses critérios no Quadro 1, observam-se os pavimentos executados tanto com equipamentos de pequeno porte quanto o de fôrma-trilho apresentam os mesmos critérios, diferindo do que é executado com equipamentos de fôrmas deslizantes apenas quanto ao consumo mínimo de cimento, que naqueles é de 320 kg/m³ e neste 350 kg/m³. Quanto à determinação da compressão axial, a norma não define de que forma é realizada. A relação água/cimento é igual nos três casos.

Nos critérios apresentados no Quadro 2 percebe-se diferença em todos eles quando comparamos o concreto executado com equipamentos de fôrma-trilho e de pequeno porte com os de fôrmas deslizantes. Quanto ao abatimento, por exemplo, tanto as normas utilizadas para determiná-los, quanto os valores estabelecidos são diferentes. Outra diferença está na dimensão máxima do agregado, pois enquanto naqueles deve-se considerar o menor valor entre 1/3 da espessura da placa e 50 mm, nestes esse valor deve ser o menor entre 1/3 da espessura da placa e 38 mm.

Observa-se também uma diferença brusca no teor de ar permitido no concreto, no primeiro caso, o limite máximo, de 0,5% é bem inferior ao segundo, que deve ser de no máximo

4%. Já quanto à exsudação, a norma não define um valor específico no caso da utilização de fôrmas deslizantes, enquanto para os outros dois casos, deve ser de no máximo 1,5%.

3.5.7 Tipos de pavimentos rígidos

Existem diferentes tipos de pavimentos rígidos em uso no Brasil, em função da concepção estrutural e dos materiais empregados. A seguir serão abordados alguns deles e, outros mais específicos, como o pavimento de concreto simples (PCS), o pavimento de concreto armado e o pavimento de concreto reforçado com fibras serão discutidos na Seção 2.8 que trata dos Pavimentos Urbanos de Concreto.

3.5.7.1 *Pavimento de concreto convencional ou rolado*

Esse tipo de pavimento utiliza concreto convencional com consistência seca sendo compactado com equipamentos vibratórios ou rolos compactadores, conforme Figura 13, sendo uma alternativa econômica. É utilizado principalmente em vias de tráfego leve e moderado, pátios industriais e estacionamentos.

Figura 13 - Compactação do concreto com rolo



Fonte: AECweb (2023).

De acordo com Bernucci et al (2010) esse tipo de pavimento “é composto por um concreto de baixo *slump*, aplicado e compactado diretamente na obra por rolos vibratórios, indicado para rodovias de baixo custo e áreas industriais”.

3.5.7.2 *Whitetopping*

O Whitetopping é a sobreposição de uma camada de concreto diretamente sobre o asfalto, que passa a atuar como uma espécie de sub-base, aumentando a resistência e prolongando a vida útil da via. A origem do termo - do inglês, cobertura branca - refere-se à tonalidade típica do

concreto, de cor cinza clara, com a função de base e revestimento, colocada sobre um revestimento asfáltico existente, com cor escura.

O *whitetopping* pode ser definido também como o recapeamento de pavimentos asfálticos com concreto de cimento portland. Nesse sentido, derruba a teoria de que o recapeamento dos pavimentos asfálticos somente possa ou deva ser feito usando-se materiais da mesma natureza que o da estrutura existente, isto é, com misturas asfálticas (ABCP, 2015).

Ainda conforme a Associação, o *whitetopping* pode ser executado de duas formas diferentes: diretamente sobre o pavimento asfáltico, “encaixado” com fresagem ou com a remoção parcial do pavimento existente. Nesse último caso, recebe o nome de *inlay*.

Com uso consagrado no Brasil e no exterior, o *whitetopping* vem melhorando as condições de tráfego e a segurança dos usuários. A combinação entre durabilidade e custo competitivo, essa técnica pode ser aproveitada em rodovias de tráfego intenso (Figura 14) e com elevado grau de deterioração, bem como em corredores urbanos, aeroportos e estacionamentos, entre outras aplicações (PAVIMENTO DE CONCRETO, 2023).

Figura 14 - Restauração em concreto (*whitetopping*) da PRC-280



Fonte: Agência Estadual de Notícias – PR (2022)

Dentre as funções desse tipo de pavimento está o emprego do concreto com funções de revestimento e base, contribuindo para as camadas inferiores ficarem sujeitas a esforços muito reduzidos em comparação a um pavimento asfáltico, garantindo assim, sua preservação e maior durabilidade.

3.5.7.3 *Pavimento sobre-laje em tabuleiros de obras de arte especiais*

As Obras de Arte Especiais (OAE's) são grandes construções em termos de infraestrutura. Elas são destinadas à transposição de obstáculos como rios, braços de mar, rodovias, montanhas, vales, dentre outros.

“O seu dimensionamento é elaborado com base nas cargas padrão para cada tipo de utilização, regulamentadas pelas normas vigentes. São capazes de resistir aos esforços provenientes do uso, como automóveis (trem tipo de 45 toneladas), trens (de, aproximadamente, 360 toneladas), pedestres (300 kg/m^2) entre outros”, apontam os engenheiros Luís Borin e Luís Henrique Bueno Pinheiro (REDAÇÃO CONCRETE SHOW DIGITAL, 2021).

Essa técnica utiliza pavimento de concreto sobre lajes existentes em pontes (Figura 15) e viadutos para distribuir melhor as cargas e proteger a estrutura.

Figura 15 - Ponte na qual foi utilizado o pavimento sobre-laje



Fonte: Portal Opinião Pública (2025).

A aplicação desse tipo de pavimento em tabuleiros de obras de arte especiais tem como finalidade melhorar a resistência estrutural e a durabilidade, bem como atuar como uma camada protetora contra esforços repetitivos e intempéries.

3.5.7.4 *Pavimento de concreto pré-moldado (PCPM)*

As placas de concreto pré-moldadas atendem à necessidade de transporte. São normalmente fabricadas sob medida, com elevado controle e precisão, para a rápida substituição de placas em pavimentos de concreto deteriorados. Os pavimentos de concreto com peças pré-moldadas utilizam elementos fabricados fora do local da obra e instalados diretamente no subleito ou sub-base. Sobre esse tipo de pavimento já foi detalhado alguns pontos importantes na seção 2.5.3.

3.5.7.5 *Pavimento de Concreto Protendido (PCPRO)*

O Pavimento de Concreto Protendido é executado através de uma protensão prévia ou posterior, que permite que as placas de concreto possuam dimensões maiores e espessuras menores quando comparadas às soluções anteriormente apresentadas. Isso é possível em função da protensão realizada, que permite que o pavimento tenha uma maior resistência à tração na flexão. Outra característica do PCPRO é a redução no número total de juntas existentes no pavimento. (PAVIMENTO DE CONCRETO, 2023).

O PCPRO é executado a partir de concretos de alta resistência, cordoalhas tracionadas e armaduras convencionais, chamadas de armaduras passivas ou armaduras frouxas. Em função da protensão, é possível obter o melhor benefício das propriedades do aço e do concreto.

Segundo Balbo (2009), os PCPRO são principalmente utilizados em pátios e áreas de manobras de aeronaves em aeroportos. Além disso, eles podem ser utilizados para pisos industriais que recebem altas cargas, ou que precisam reduzir juntas.

3.6 Pavimentos flexíveis

3.6.1 Conceito

Assim como os pavimentos rígidos, os pavimentos flexíveis são estruturas compostas por camadas superpostas. Porém, nestes, os esforços aplicados pelas cargas veiculares são transmitidos gradativamente às camadas inferiores, ao contrário do que ocorre com os pavimentos rígidos, nos quais o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado.

Nesse tipo de pavimento, suas diversas camadas têm a finalidade de trabalhar simultaneamente, sendo que cada uma delas recebe uma parte das exigências impostas pelos carregamentos e repassa o restante às camadas que ficam posicionadas em níveis inferiores. A parte superior apresenta uma camada de base constituída de revestimento betuminoso (DNIT, 2006).

Vale ressaltar que essas camadas são projetadas para trabalhar em conjunto, distribuindo os esforços até o subleito, que é a camada de suporte. Outro fator importante é que esse tipo de pavimento é caracterizado pela sua capacidade de deformar sem fissurar, ou seja, sem apresentar rachaduras, adaptando-se às deformações do subleito.

De acordo com Marques [s.d] “as camadas que constituem esse tipo de pavimento não trabalham à tração”. Isso ocorre por questões relacionadas às características dos materiais que o compõem e ao modo como as cargas são transmitidas através de suas camadas. Normalmente

são constituídos de revestimento betuminoso delgado sobre camadas puramente granulares. A capacidade de suporte é função das características de distribuição de cargas por um sistema de camadas superpostas, onde as de melhor qualidade encontram-se mais próximas da carga aplicada.

Melo e Oliveira (2021) definem os pavimentos flexíveis como aqueles constituídos por camadas que não trabalham à tração. Normalmente são constituídos de revestimento betuminoso delgado sobre camadas puramente granulares ou sob camada de base de solo estabilizado granulometricamente.

Isso ocorre por questões relacionadas às características desses materiais e ao modo como as cargas são transmitidas através de suas camadas. A capacidade de suporte é função das características de distribuição de cargas por um sistema de camadas superpostas, onde as de melhor qualidade encontram-se mais próximas da carga aplicada.

Possuem uma vida útil de 15 a 20 anos, dependendo das condições para qual a estrada foi projetada e apresentam em geral o revestimento feito com ligante betuminoso, com a vantagem de ser um material extremamente versátil.

De modo geral, a fim de facilitar o entendimento, os pavimentos flexíveis ainda podem ser definidos como:

aqueles em que as deformações, até uma determinada margem, não levam ao rompimento. São calculados normalmente a compressão e a tração na flexão, provocada pelo aparecimento das bacias de deformação sob as rodas dos veículos, que levam a estrutura a deformações permanentes, e ao rompimento por fadiga (SENÇO, 2007).

Diante dessa afirmação, fica evidente a capacidade dos pavimentos flexíveis de suportar deformações sem apresentar falhas imediatas. Isso se dá devido à plasticidade e à capacidade dos materiais de dissipar as tensões, especialmente em camadas como o revestimento asfáltico e as bases granulares. Vale ressaltar também que esses limites de deformação citados pelo autor estão relacionados ao módulo resiliente dos materiais e às condições do subleito.

A saber, o módulo de resiliência é a relação entre a tensão pulsante, no caso a tensão principal maior ou tensão vertical (σ_1), aplicada repetidamente na amostra e a correspondente deformação vertical recuperável ou resiliente (ϵ_r) (DNIT, 2018).

Quanto ao aparecimento das chamadas “bacias de deformação”, estas são resultados do efeito direto do tráfego sobre o pavimento, submetido a cargas repetidas que ao longo do tempo, levam ao surgimento de trilhas de roda. Essas deformações dependem da frequência, intensidade e tipos de carga aplicada, bem como da resistência estrutural do pavimento e do subleito.

Em se tratando das deformações permanentes e do rompimento por fadiga, esses fenômenos ocorrem quando os limites de resistência do material são ultrapassados devido ao

tráfego cíclico. Porém, é importante ressaltar que o rompimento por fadiga é mais relevante nas camadas asfálticas, enquanto as deformações permanentes estão mais associadas às camadas granulares e ao subleito.

Para concluir, Júnior e Magalhães (2014) afirmam que “os pavimentos flexíveis são aqueles em que todas as camadas sofrem deformações elásticas significativas sobre o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas”. Ainda conforme os autores, estes aceitam maiores deformações sem se romper e o seu dimensionamento é realizado com base nas características geotécnicas dos materiais a serem usados.

Ante o exposto, percebe-se que os materiais utilizados nesse tipo de pavimentos, como misturas asfálticas e materiais granulares possuem características específicas como a flexibilidade e adaptabilidade, permitindo que o pavimento suporte deformações do subleito e do tráfego sem apresentar fissuras ou falhas catastróficas.

3.6.2 Estrutura do pavimento flexível (ou asfáltico)

No geral, o pavimento flexível é constituído das seguintes camadas: revestimento, base, sub-base, reforço do subleito e subleito. Como essas camadas já foram definidas anteriormente, tratar-se-á aqui apenas de algumas especificidades destas no pavimento flexível:

a) Revestimento

O revestimento (ou capa asfáltica), é a camada superior, diretamente exposta ao tráfego, responsável por resistir ao desgaste e proporcionar uma superfície confortável e segura. Geralmente, é constituída por misturas asfálticas, como o Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ). Essa camada é responsável por manter a impermeabilização, protegendo as camadas inferiores (SENÇO, 2007).

b) Base

Assim como nos pavimentos rígidos, essa camada encontra-se abaixo do revestimento e é projetada para suportar cargas mais concentradas e distribuí-las de forma uniforme às camadas inferiores. Quanto aos materiais que podem constituí-la estão a brita graduada, o solo estabilizado com cimento ou misturas asfálticas.

c) Sub-base (quando presente)

Funciona como uma camada intermediária entre a base e o subleito, sendo utilizada em pavimentos de maior espessura ou onde o subleito possui características geotécnicas inferiores. Geralmente é composta por brita graduada simples ou solo estabilizado.

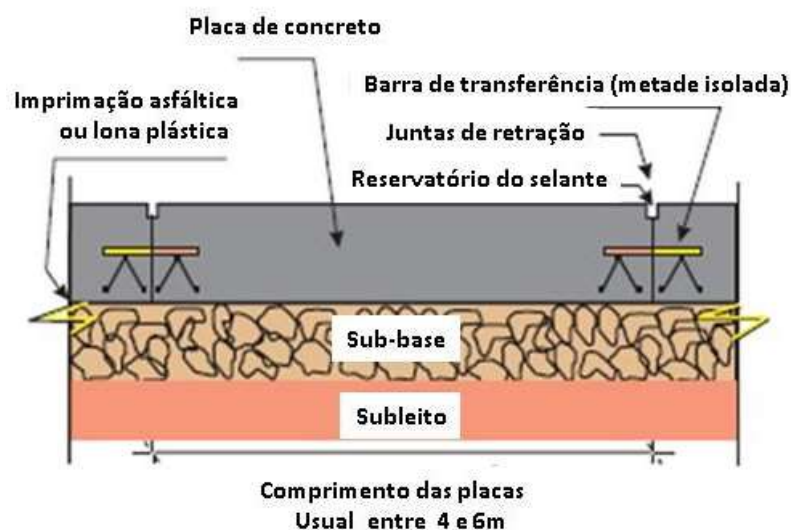
Em algumas situações, por circunstâncias técnicas, não é aconselhável construir a base diretamente sobre o reforço do subleito ou sobre o subleito em si. Nesse caso, constrói-se então a sub-base, que também complementa a base.

d) Subleito (ou terreno de fundação)

É a camada mais inferior, composta pelo solo natural, compactado ou melhorado. Suporta todas as camadas superiores e é essencial para garantir a estabilidade do pavimento.

O **reforço do subleito** já foi discutido anteriormente e dispensa observações. A Figura 16 mostra detalhes do corte transversal do revestimento asfáltico e suas camadas.

Figura 16 - Corte transversal do revestimento asfáltico e suas camadas



Fonte: Bernucci, *et. al.*, (2008).

3.7 Análise comparativa entre os pavimentos rígidos e flexíveis

De acordo com Bianchi, Brito e Castro (2008), “a principal diferença entre os pavimentos flexível e rígido é a distribuição de tensões nas camadas subjacentes”. De acordo com os autores, enquanto o pavimento flexível funciona como camada de rolamento e os esforços devido ao tráfego são absorvidos pela fundação, no pavimento rígido, a camada de rolamento também funciona como estrutura, redistribuindo os esforços e diminuindo a tensão imposta à fundação.

Dando continuidade ao estudo, os autores elaboraram o Quadro 3, que traz um comparativo entre os dois pavimentos aqui estudados, abordando vários aspectos.

Quadro 3 - Comparativo entre os pavimentos rígidos e flexíveis

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.
Mantém íntegra a camada de rolamento, não sendo afetado pelas intempéries.	Altas temperaturas ou chuvas abundantes produzem degradação.

Fonte: Bianchi, Brito e Castro (2008).

Diante dos pontos comparados no quadro, percebe-se que:

3.7.1 Quanto à espessura do pavimento

Os pavimentos rígidos são projetados com espessuras menores devido à alta rigidez do concreto, que distribui melhor as cargas, reduzindo a quantidade de material necessário e os custos associados, enquanto que os pavimentos flexíveis precisam de várias camadas para suportar cargas, resultando em maior espessura.

Nesse sentido, os custos com os pavimentos rígidos são menores, pois demandam menos material e escavação, o que os torna mais econômicos em termos de recursos. Já os pavimentos flexíveis exigem maior movimentação de terra e camadas mais espessas, aumentando o custo inicial.

3.7.2 Quanto à resistência à ataques químicos

Embora os autores afirmem que o pavimento rígido resiste a ataques químicos (óleos, graxas, combustíveis), faz necessário analisar de forma mais crítica essa informação. Segundo o Prof. Dr. Moacyr Salles Neto do Instituto Federal do Tocantins, alguns combustíveis podem conter sulfatos em sua composição e esse sulfato podem atacar tanto o concreto, quanto o motor dos automóveis, degradando assim, o pavimento. “Então, não necessariamente o pavimento rígido resiste aos combustíveis dos veículos que trafegam sobre eles. [...] o termo é muito forte para falar que ele resiste. Então, assim, ele apresenta uma maior resistência. Mas ele não é imune”, conclui.

3.7.3 Quanto à visibilidade

A cor clara dos pavimentos rígidos melhora a visibilidade, especialmente à noite e em condições adversas. Os flexíveis, por serem escuros, refletem menos luz, prejudicando a segurança.

A superfície clara dos pavimentos de concreto reflete até 30% a mais a luz do que a superfície escura. Com isso, a economia de energia elétrica na iluminação pública e sinalização varia de 30% a 60%. E ainda é possível aumentar a distância entre postes (60 m) (ABCP, 2025).

3.7.4 Quanto à vida útil

De acordo com a ABCP (2025) “a vida útil do pavimento de concreto é elevada, desde que respeitadas as características do produto, de instalação, de uso e de manutenção. Nestas condições, o ciclo de vida do concreto é 5 vezes maior que o do asfalto”.

A durabilidade é uma característica notável do pavimento de concreto, alcançando, com manutenção adequada, uma vida útil mínima de 20 anos, o dobro do asfalto. Além disso, sua

necessidade reduzida de manutenção corretiva em comparação ao asfalto resulta em economia de materiais e mão de obra (PAVIMENTO DE CONCRETO, 2023).

As manutenções em pavimentos asfálticos, como o uso da técnica de whitetopping (processo que adiciona uma camada de concreto sobre o asfalto desgastado, que será tratada no decorrer deste trabalho.), são cada vez mais comuns, refletindo a necessidade de reparos constantes oriundos da escolha pelo asfalto no passado. Portanto, o uso do concreto desde a construção da rodovia, no entanto, elimina essa etapa, proporcionando maior economia a longo prazo (CARVALHO, 2024).

3.7.5 Quanto à segurança à derrapagem

Devido à textura, os pavimentos rígidos oferecem maior segurança, reduzindo a distância de frenagem. Já os flexíveis tendem a ser mais escorregadios, principalmente quando molhados.

O pavimento de concreto possui uma resistência à derrapagem elevada, devido, principalmente, à inclinação da seção transversal, que está na ordem de 2 a 3 vezes menor que a pavimentação flexível, diminuindo a incidência de derrapagens e tombamentos. (MEANS; ANANIAS; OLIVEIRA, 2011 *apud* JÚNIOR, 2020).

De acordo com Carvalho (2024), ao contrário do asfalto, que pode se tornar escorregadio com o tempo, o concreto mantém suas características de aderência por mais tempo, reduzindo o risco de acidentes. “Essa característica é especialmente importante em regiões onde o clima varia, como no sul do Brasil, onde chuvas intensas e variações de temperatura são frequentes”, observa o entrevistado Carlos Henrique Siqueira, engenheiro civil formado pela Universidade Federal da Paraíba e pós-graduado em Estruturas na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Mestre e Doutor em Ciências pela Universidade Federal Fluminense (UFF) e Diretor da ABPE (Associação Brasileiras de Pontes e Estruturas).

3.7.6 Quanto ao material do qual é composto

Esse ponto também necessita observações, uma vez que o Brasil é um grande produtor de petróleo, sendo assim, “a gente também tem o petróleo nacional sendo utilizado e, após feita a destilação de petróleo, a gente tem a fração de asfalto que também é empregada na pavimentação rodoviária” (NETO, 2025).

3.7.7 Quanto à resistência às intempéries

Conforme os autores, a camada de rolamento do pavimento rígido mantém-se íntegra, não sendo afetado pelas intempéries. Porém, de acordo com Netto (2025), se o pavimento estiver

localizado numa região de um sítio industrial, por exemplo, a partir do gás carbônico suspenso na atmosfera, ao chover, forma-se então o ácido carbônico, que degrada o concreto do pavimento.

3.8 Pavimentos Urbanos de Concreto – PUC’s

3.8.1 Conceito

A pavimentação urbana é essencial para o desenvolvimento e a qualidade de vida nas cidades, sendo um dos pilares mais importantes da infraestrutura das cidades modernas. Desde a mobilidade até a segurança, a pavimentação de vias tem papel fundamental no desenvolvimento urbano e na qualidade de vida dos cidadãos.

Júnior e Pinheiro (2024) destacam que o pavimento rígido de concreto vem sendo utilizado há mais de 100 anos em estradas e vias em todo o mundo e que através de novas tecnologias e estudos foi desenvolvido um pavimento mais resistente e esbelto para o tráfego de veículos de pequeno e médio porte, ideais para os ambientes urbanos de tráfegos leves a moderados. Ainda conforme os autores, o Pavimento Urbano de Concreto - PUC “é o pavimento cuja camada é constituída por placas de concreto de cimento Portland com adição de macrofibras estruturais, que atuam como reforço secundário”. Nesse sentido, eleva-se o desempenho de resistência e tração do concreto, enquanto a espessura da camada de concreto é reduzida, desempenhando, simultaneamente, as funções de base e de revestimento.

Os Pavimentos Urbanos de Concreto (PUC’s) é reconhecido como uma alternativa robusta, durável e com baixa demanda de manutenção para infraestrutura em áreas urbanas. Sua longa vida útil, capacidade de suportar cargas elevadas e resistência às condições climáticas extremas tornam-no uma solução eficiente para municípios e órgãos governamentais que buscam pavimentações com maior retorno a longo prazo. Apesar de o pavimento asfáltico também ser amplamente utilizado, o PUC apresenta benefícios significativos que vêm consolidando sua popularidade na construção e requalificação de vias urbanas.

3.8.2 Recomendações referentes aos Pavimentos Urbanos de Concreto

Embora o DNIT, a ABNT e os Departamentos Estaduais de Transporte publiquem as normas e especificações técnicas mais difundidas e relevantes no setor rodoviário e que regem os serviços para pavimentação de concreto no Brasil, não existem normas específicas para os PUC’s. No entanto, algumas dessas legislações estabelecem critérios que atendam esse tipo de pavimento, por se tratar de um pavimento rígido e ter características semelhantes ao Pavimentos de Concreto Simples.

Há mais de 50 anos não existem referências para projetos de pavimento urbano no Brasil, a mais recente foi publicada pela Prefeitura Municipal de São Paulo, em 1967. O decreto estabeleceu critérios técnicos para pavimentos de concreto, denominado “Método de Dimensionamento — MD 2”, pautando-se pelo método da PCA (1966) para a definição de seções-tipo de pavimento a serem empregadas em obras viárias urbanas (ABNT, 2021)

Em agosto de 2021, a Associação Brasileira das Empresas de Serviço de Concretagem (ABESC) propôs uma consulta pública de uma prática recomendada para projetos de pavimento urbano de concreto que tinha como objetivo sugerir as melhores metodologias de cálculo, a fim de dar mais competitividade ao pavimento rígido.

Em novembro do mesmo ano, ao finalizar a consulta pública, foi publicada sua 1ª edição. Tecnicamente chamada de ABNT PR 1011 - Projeto de pavimentos urbanos em concreto, o documento apresenta recomendações para projeto de pavimentos urbanos de concreto. Ele aborda materiais, dimensionamento, cálculos de tensões e resistências, modelagem de comportamento à fadiga e tipos de bases de apoio para pavimentos de concreto. O documento fornece diretrizes técnicas para projetar pavimentos de concreto que sejam resistentes e duráveis (ABNT, 2021).

É importante ressaltar que, embora forneça diretrizes valiosas, a ABNT PR 1011 não possui caráter normativo obrigatório, mas serve como referência para engenheiros e projetistas que atuam no segmento de pavimento de concreto, ao oferecer um leque de metodologias adequadas a vários cenários urbanos no Brasil (SANTOS, 2021).

Em seu texto introdutório, a norma destaca que:

Atualmente, não existe normalização no território nacional, com a abordagem normativa anteriormente descrita, para projeto de pavimentos de concreto simples, nem em nível federal, nem nas unidades federativas. Embora a ABNT NBR 6118 trate das estruturas de concreto armado, as peculiaridades de projeto dos pavimentos de concreto armado merecem especial atenção, até mesmo pelas similaridades com os pavimentos de concreto simples (ABNT, 2021).

Diante disso, surgiu uma demanda para a elaboração desta Prática Recomendada, objetivando estabelecer boas práticas de projeto para os pavimentos de concreto aos engenheiros civis, por meio da Comunidade Brasileira de Engenharia Civil dedicada às construções em concreto de cimento Portland.

3.8.3 Tipos de Pavimentos Urbanos de Concreto - PUC's

De acordo com a ABCP, os pavimentos podem ser projetados conforme a norma ABNT PR1011:2021 - Projetos de pavimentos urbanos em concreto. Eles podem ser de três tipos:

- a) *Pavimentos de Concreto Simples*: placas moldadas in loco, sem armaduras para resistir a momentos de flexão;
- b) *Pavimentos Armados*: placas moldadas in loco com reforços de tela soldada (barras de aço) para resistir a momentos de flexão;
- c) *Pavimentos Reforçados com Fibras*: placas moldadas in loco com reforços de fibras estruturais para resistir a momentos de flexão.

A seguir serão detalhados cada um desses três tipos de pavimentos.

3.8.3.1 Pavimento de Concreto Simples (PCS)

Cava (2018) define os pavimentos de concreto simples como aquele constituído por placas de concreto moldadas in loco, os quais são assentadas em uma base, seguida de sub-base e posteriormente da camada final de terraplenagem, o subleito e que, em alguns casos, dependendo da espessura da camada de concreto, esses podem também exercer a função de base e revestimento, simultaneamente, eliminando a necessidade de uma camada própria de “base”. Dessa forma, o pavimento de concreto pode resultar em uma estrutura mais compacta.

O autor ainda ressalta que nesse tipo de pavimento, “o concreto é o responsável por resistir aos esforços de tração na flexão, [...] não há a presença de armaduras para resistir aos esforços solicitantes do tráfego”. Nesse sentido, a ausência de armaduras torna o concreto o principal responsável por essa resistência, devendo este apresentar as características específicas apresentadas na subseção 2.5.6 deste trabalho, que trata sobre as características do concreto empregado no pavimento rígido.

Outra característica importante desse tipo de pavimento é a presença de juntas longitudinais e transversais, onde são posicionadas as barras de ligação e de transferência de carga (Figura 17), respectivamente.

De acordo com a existência ou não de barras de transferência, esse tipo de pavimento pode ser dividido em dois subtipos, os quais serão detalhados a seguir: Pavimento de Concreto Simples sem barras de transferência e Pavimento de Concreto Simples com barras de transferência.

Figura 17- Representação de um pavimento de concreto simples com barras de transferência dispostas nas fôrmas metálicas de contenção transversal.



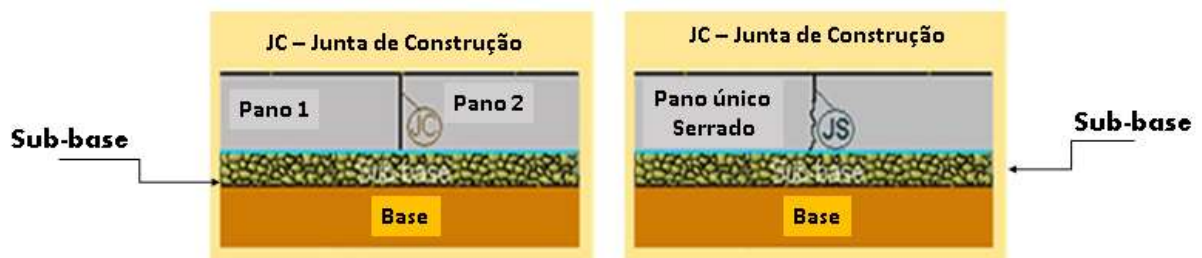
Fonte: Fameth (2025)

a) Pavimento de Concreto Simples (sem barras de transferência)

Nesse tipo de pavimento, as juntas são executadas para evitar o surgimento de fissuras provenientes do processo de retração do concreto e do carregamento causado pelo tráfego. A quantidade e o espaçamento das juntas devem ser avaliados ainda na etapa de projeto, garantindo mais eficiência e possibilitando um pavimento de qualidade.

“Além de controlarem a fissuração devida ao empenamento, as juntas longitudinais, normalmente, funcionam também como junta de construção. [...] Caso haja necessidade de junta longitudinal, mas o equipamento não exija junta de construção, pode-se optar pela junta serrada” (OLIVEIRA, 2020). O esquema a seguir (Figura 18) representa esses dois tipos de juntas.

Figura 18 - Tipos de juntas longitudinais empregadas em pavimentos de concreto simples



Fonte: UNIOTECH (2024).

Como se pode observar no esquema, as juntas longitudinais de construção, nas quais o pavimento apresenta dois panos, resultam das fôrmas que limitam as dimensões da placa, seja por limitação dos equipamentos de construção ou ainda pela taxa do reforço empregada, enquanto que as juntas longitudinais serradas, executadas por corte mecânico no concreto endurecido, ocorrem em num pano único serrado, na direção longitudinal (paralela ao tráfego).

Essas últimas direcionam as tensões internas para um local específico, prevenindo trincas desordenadas (ABNT, 2021).

Portanto, as juntas longitudinais de construção têm a função de garantir a conexão e continuidade adequada entre as placas, quando há interrupção na concretagem, enquanto que nas juntas longitudinais serradas a função é controlar fissuras devido à retração do concreto, garantindo maior durabilidade do pavimento. Ambas as juntas desempenham papéis fundamentais na qualidade e longevidade dos pavimentos de concreto (VIANA, 2018).

Outro fator importante sobre as juntas longitudinais de construção é que estas devem ficar situadas fora das trilhas de tráfego (RODRIGUES, 2008).

Quanto às juntas transversais, estas devem ser retilíneas em toda a sua extensão, perpendiculares ao eixo longitudinal do pavimento, salvo em situações particulares indicadas no projeto. Devem ser executadas de modo que as operações de acabamento final da superfície possam processar-se continuamente, como se as juntas não existissem (DER SP, 2007).

Em geral, existem três tipos de juntas transversais, empregadas em pavimentos de concreto, segundo sua função: junta de retração, junta de expansão e junta de construção. Dentre essas, as juntas transversais de construção não deverão coincidir com bueiros, drenos ou estruturas que venham a enfraquecer a seção (RODRIGUES, 2008).

As aplicações desse tipo de pavimentos são as mais diversas, conforme detalhado a seguir:

- *Vias urbanas de tráfego leve e moderado*: ruas residenciais; vias locais com circulação limitada de veículos pesados, ciclovias e calçadas;
- *Estacionamentos de veículos leves*: shoppings, supermercados e condomínios residenciais;
- *Pátios industriais e áreas de carga com movimentação reduzida*: depósitos com tráfego esporádico de empilhadeiras ou caminhões leves e áreas de armazenagem sem grande impacto estrutural;
- *Pistas e acessos internos de aeroportos e portos de baixo impacto*: áreas de manobra de veículos auxiliares e caminhos de serviço e manutenção.

b) Pavimento de concreto simples com barras de transferência de carga

De acordo com Viana (2018), os pavimentos de concreto simples com barras de transferência de carga são aqueles que além de apresentar as juntas de retração (longitudinais e transversais), apresentam também barras de transferência de carga de uma placa para outra. Ainda conforme o autor, essas barras possuem a função de combater os degraus na pista, que

causam desconforto ao usuário do pavimento e, também, a ruína (destruição) do pavimento, que pode ocorrer na região da junta de retração entre as placas de concreto.

Conforme representado na Figura 19, essas barras são “posicionadas ao longo das juntas transversais dos pavimentos e, como o próprio nome já diz, têm função de transferir parte da carga que uma placa recebe para a outra placa de concreto” (CAVA, 2019).

Figura 19 - Barras de transferência nas juntas transversais do pavimento

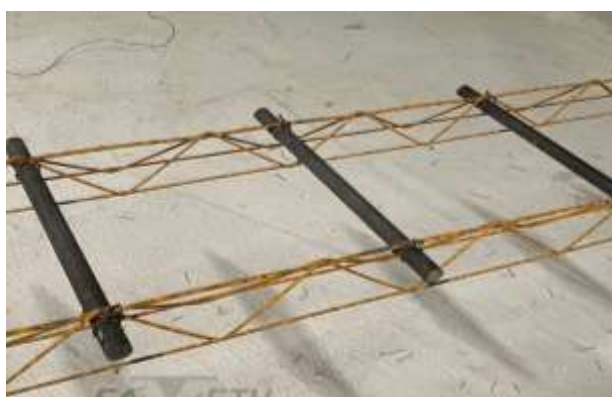


Fonte: Veneconsult (2018).

Essa transferência de cargas faz-se necessária porque as tensões e deflexões nas juntas são muito menores quando compartilhadas entre placas, diminuindo a formação de degraus (faulting) entre placas de pavimentos de concreto e prevenindo o bombeamento de finos (pumping), o qual é utilizado como fator de projeto pelo método de dimensionamento da PCA (1984).

Essas barras são fornecidas no mercado conforme o comprimento especificado em projeto, podendo ter seção circular ou quadrada. É recomendado o uso de espaçador treliçado (Figura 20) para o correto posicionamento das barras.

Figura 20 - Espaçador treliçado para distribuição das barras de transferência



Fonte: FAMETH (2024).

Esse dispositivo é essencial para a execução dos pavimentos de concreto com juntas transversais, ao garantirem que as barras de transferência fiquem corretamente alinhadas e espaçadas dentro da junta transversal. Outra função desses espaçadores é garantir o dimensionamento uniforme das barras antes da concretagem e, evitar o deslocamento destas, durante a concretagem.

Os pavimentos Pavimento de concreto simples com barras de transferência de carga geralmente são utilizados em:

- *Rodovias de alto tráfego*: vias expressas, rodovias principais e estradas com grande circulação de veículos pesados;
- *Corredores de ônibus e transporte público*: BRTs (Bus Rapid Transit) e faixas exclusivas para ônibus urbanos;
- *Pátios logísticos e industriais*: terminais de carga e descarga e áreas de movimentação intensa de caminhões e empilhadeiras;
- *Portos e Aeroportos*: pistas de táxi, pátios de aeronaves, áreas de contêineres e movimentação portuária.
- *Vias urbanas de tráfego intenso*: avenidas principais de centros urbanos e ruas com grande circulação de caminhões e ônibus.

3.8.3.2 Pavimentos com reforço estrutural

De acordo com a PR 1011:2021 - Projetos de Pavimentos Urbanos em Concreto, os pavimentos com reforço estrutural podem ser de dois tipos: pavimentos armados com tela soldada ou barras de aço (ou Pavimento de Concreto Armado (PCA)) e pavimentos reforçados com fibras estruturais.

Os pavimentos armados com tela soldada ou barras de aço podem ser de dois tipos: simples (constituído por apenas uma tela ou armadura) e dupla (constituído por duas telas ou armadura).

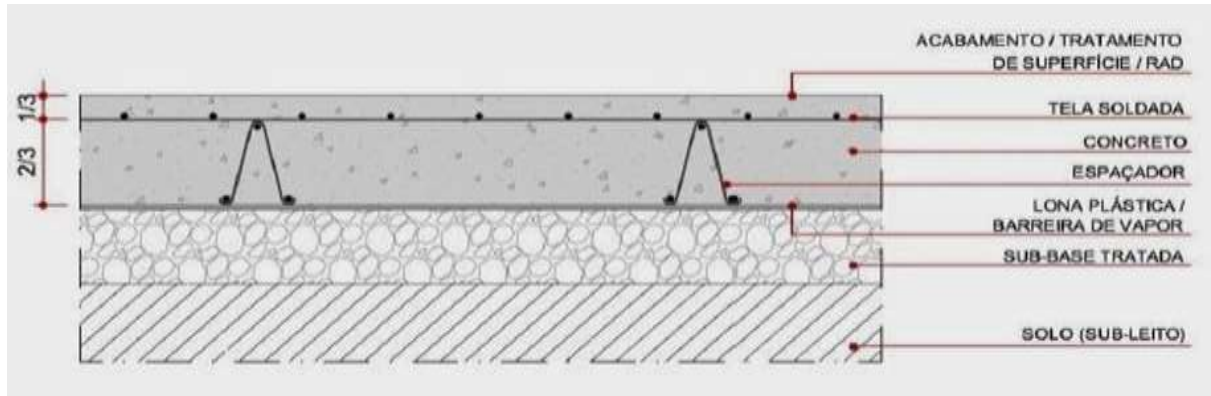
a) Pavimento de concreto armado com tela ou barras de aço simples

É o pavimento que apresenta elevada taxa de armadura, porém estas não possuem função estrutural, pois não resiste aos esforços de tração na flexão, sendo o concreto o responsável por tais esforços. O objetivo dessas armaduras é apenas de manter as faces unidas após o processo de fissuração por retração do concreto (CAVA, 2018).

Esse tipo de pavimento possui armaduras com tela de aço soldada no seu interior, posicionada no terço superior da placa de concreto, conforme mostra a Figura 21. Essas telas

melhoram a resistência à tração das placas de concreto, permitindo a execução de placas com áreas maiores em relação às áreas dos projetos que utilizam o PCS. Esse pavimento é constituído de concreto de cimento Portland como camada de base e revestimento.

Figura 21 - Esquema de um pavimento armado com uma tela soldada



Fonte: Vicentin (2017, p.20)

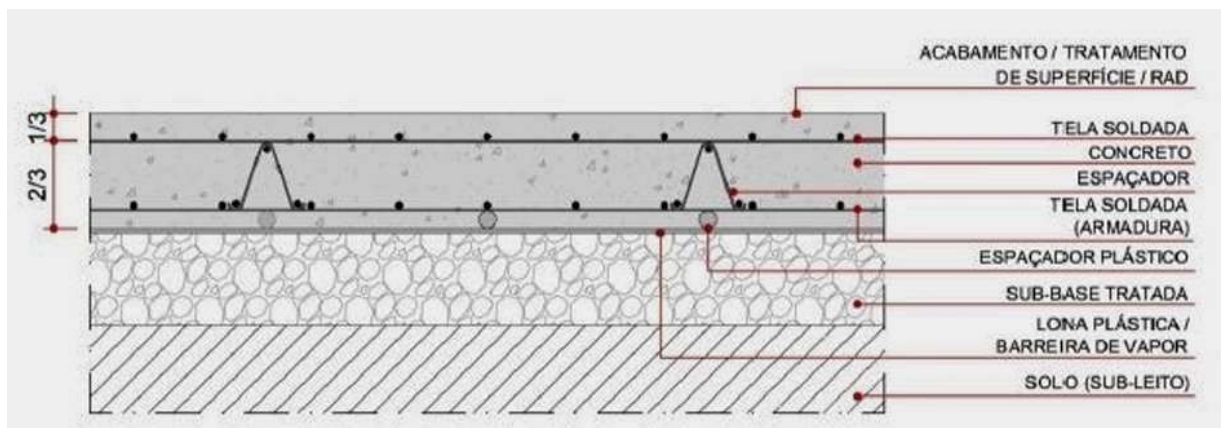
Assim como no PCS, esse tipo de pavimento é dotado de juntas transversais de retração e longitudinais de articulação ou construção, sendo as transversais com barras de transferência.

O campo de aplicação desse tipo de pavimento é muito amplo, destacando-se: indústrias, estacionamentos, depósitos / armazéns, quadras esportivas, pátios de carga e descarga, estradas, aeroportos, postos de gasolina, etc. (IBTS, 2020).

b) Pavimento de concreto armado com tela ou barras de aço dupla (ou estruturalmente armado)

É um pavimento de concreto executado com uma armadura dupla (Figura 22); sendo uma para suportar as tensões oriundas do tráfego, geralmente disposta na parte inferior da placa e outra para combater os esforços de retração e empenamento, disposta na parte superior da placa (DNIT, 2005).

Figura 22 - Esquema de um pavimento estruturalmente armado



Fonte: Vicentin (2017, p.21)

Nesse caso, dependendo do dimensionamento estrutural, o número de juntas transversais pode ser reduzido porque a armadura distribuída ao longo da placa melhora o comportamento estrutural do pavimento e controla a fissuração.

Quanto à espessura, o PCA pode apresentar valores menores quando comparado ao PCS, uma vez que a colaboração da armadura na resistência à flexão do pavimento, contribui para a redução do volume de concreto utilizado.

A Figura 23 representa a armadura de um Pavimento de Concreto Estruturalmente Armado (PCEA), pronta para execução da concretagem.

Figura 23 - Armadura de pavimento estruturalmente armado



Fonte: Guedes Pisos de Concreto (2024).

Esse tipo de pavimento é utilizado na pavimentação de rodovias, grandes avenidas - marginais, corredores de ônibus, anéis viários e arruamento em indústrias (IBTS, 2020).

3.8.3.3 Pavimento de concreto reforçado com fibras (PCRF)

A ABNT PR 1011 - Projeto de pavimentos urbanos em concreto afirma que:

Os pavimentos urbanos apresentam similaridade com os pavimentos rodoviários, mas certas particularidades fazem com que a solução reforçada possa apresentar vantagens nas áreas urbanas, como a maior facilidade de recuperação no caso de intervenções de infraestrutura, como redes de água, gás, telefonia etc., e liberação do trânsito em idades inferiores (pavimento armado), além de permitirem placas com maiores dimensões (ABNT, 2021).

Esse reforço ao qual a Prática Recomendada se refere pode ser entendido, além do reforço estrutural com armaduras, como detalhado anteriormente, mas também como o reforço obtido pela adição de fibras estruturais, de aço ou as macrofibras poliméricas no concreto.

Dias (2025) afirma que “a utilização de fibras no concreto contribui positivamente, pois confere ao concreto, um acréscimo na resistência residual à tração pós-fissuração, uma vez que as fibras atuam como ponte de transferência de tensões entre as fissuras”. O autor ainda ressalta que essas fibras dificultam a propagação de fissuras no material e, portanto, aumentam a sua ductilidade.

Este tipo de pavimento é caracterizado pela adição de fibras ao concreto, que podem ser de diferentes materiais, como polipropileno, aço ou vidro. Essas fibras atuam como reforço, melhorando as propriedades mecânicas do concreto e aumentando sua capacidade de suportar cargas e tensões (PAVSINAL, 2024).

Ainda conforme a ABNT PR 1011:2021, as fibras mais comuns para efeitos de dimensionamento são as de aço e as plásticas, que serão detalhadas a seguir:

a) fibras de aço: são reforços discretos, formando compósito de matriz frágil e reforço dúctil, empregando fibras com ancoragem nas extremidades, com taxa mínima de 20 kg/m². O momento positivo residual deve ser superior a 50 % do momento resistente da seção.

Nos últimos anos, o concreto reforçado com fibra de aço alcançou reconhecimento em diversas aplicações de engenharia e, ultimamente, tornou-se mais frequente substituir o reforço de aço por concreto reforçado com fibra de aço (Ad NORMAS, 2019). A Figura 24 representa adição de fibras de aço ao concreto no seu estado fresco, já a Figura 25 representa o concreto reforçado com fibras de aço em seu estado endurecido.

Figura 24 - Concreto com adição de fibras de aço



Figura 25 - Concreto reforçado com fibras de aço em seu estado endurecido



Fonte: Revista Construa (2021).

As aplicações de concreto armado com fibra de aço têm sido variadas e generalizadas, devido às quais é difícil categorizar. As mais comuns são revestimentos de túneis, lajes e pavimentos de aeroportos.

b) macrofibras poliméricas: são reforços discretos, formando compósito de matriz frágil e reforço dúctil, empregando macrofibras poliméricas em taxa mínima de 5 kg/m². O momento positivo residual deve ser superior a 50 % do momento resistente da seção. As fibras de polipropileno são filamentos muito finos, fibrilados e alongados. São utilizados para dar reforço ao concreto, inibindo o aparecimento e propagação de fissuras em concretos e argamassas.

Em um concreto com fibras de polipropileno as fibras não se oxidam e não absorvem água, enquanto o concreto ganha em estabilidade dimensional por controle da exsudação de forma que as fissuras de retração sejam evitadas. Além disso, ao controlar o fenômeno da exsudação o concreto adquire resistência superficial superior melhorando a resistência ao desgaste.

De acordo com o engenheiro civil Marmorato, as macrofibras são elementos de reforço que, distribuídos aleatoriamente no concreto, formam uma armadura tridimensional e que a capacidade de reforço destes elementos depende de algumas de suas características, como suas propriedades mecânicas, aderência fibra-matriz e resistência alcalina (REDAÇÃO CONCRETE SHOW DIGITAL, 2023).

As fibras poliméricas têm sido utilizadas com sucesso para o aumento da resistência ao dano de concretos refratários durante a secagem. Tal aplicação se baseia no aumento de

permeabilidade ocasionado pela fusão ou degradação dessas fibras durante o primeiro aquecimento do concreto (PERET et al, 2003).

Os autores ainda ressaltam que, “além desse benefício, as fibras poliméricas podem também atuar como reforço, aumentando tanto a resistência mecânica quanto a energia total de fratura, se suas propriedades se mantiverem íntegras até a temperatura de máxima pressurização”.

As macrofibras são geralmente de polipropileno e/ou polímeros (Figura 26), que quando misturadas ao concreto em dosagens que geralmente variam de 2 a 7 kg/m³ de concreto, criam uma espécie de malha estrutural entre os agregados (Figura 27), que proporcionam um aumento da tenacidade, impacto e fadiga. Essas macrofibras podem substituir o aço em pisos industriais, pavimentos de concreto, pré-fabricados, tubos de concreto, anéis segmentados para túneis, capas de compressão de lajes, concreto projetado e radiers.

Figura 26 - Macrofibras poliméricas



Fonte: BarChip Inc (2025).

Figura 27 - Concreto com adição de macrofibras polimérica no seu estado endurecido.



Fonte: BarChip Inc (2025).

3.8.4 Aplicações dos pavimentos de concreto nas cidades

De acordo com a ABCP, os PUC's foram desenvolvidos para uso em áreas urbanas, principalmente dentro das cidades, mas também podem ser aplicados em áreas rurais e propriedades públicas ou privadas de diferentes tamanhos. Exemplos de uso incluem ruas e avenidas de tráfego leve a pesado, paradas de ônibus, corredores exclusivos, BRT's, marginais, viadutos, pontes, túneis, regiões portuárias, vias rurais, estradas vicinais, pátios, pistas de pouso, helipontos, estacionamentos residenciais, comerciais e industriais, terminais diversos, obras de infraestrutura agrícola ou pecuária, ciclovias e passeios, entre outros.

A seguir serão detalhados alguns desses locais nos quais os PUC's podem ser utilizados para a melhoria do espaço urbano.

2.8.4.1 BRT's e corredores de ônibus

O *Bus Rapid Transit* (BRT) é um corredor de ônibus de alta capacidade que pode proporcionar um serviço rápido, confortável e de alto custo-benefício, com capacidade equivalente aos sistemas de metrô. Nesse sentido, o pavimento de concreto se destaca como a escolha preferencial devido à sua resistência e durabilidade.

O pavimento de concreto é muito eficiente quando empregado em corredores de ônibus (Figura 28), pois o mesmo possui vida útil maior que as demais alternativas de pavimentação e não sofre deformações plásticas, as famosas “trilhas de rodas” ou buracos. Com isso, permite também redução no custo de operação dos veículos. Além da decisão de implantar um corredor exclusivo é preciso executar um projeto de infraestrutura que contemple um pavimento de qualidade, durável, capaz de suportar trânsito pesado, constante, repetitivo e de baixa manutenção. (ABCP, 2025).

As frenagens e arrancadas dos ônibus deformam rapidamente os pavimentos asfálticos, produzindo ondulações que criam obstáculos nas faixas e corredores. Impossibilitados de parar junto à calçada, os ônibus passam a utilizar parte das faixas destinadas aos carros provocando problemas ao trânsito e aos usuários (ABESC, 2024).

Figura 28 - Emprego de pavimento de concreto em corredor de ônibus.



Fonte: ABCP (2025).

3.8.4.2 Ruas de menor tráfego

Embora o pavimento de concreto tenha um custo inicial mais alto que o asfáltico, a necessidade de manutenção é bem inferior. Nesse sentido, tem se destacado também em cidades de menor porte, como foi o caso de Jequié (BA), que adotou o pavimento de concreto em vias de tráfego baixo e médio (Figura 29).

A pavimentação das cidades com o uso do concreto tem diversos benefícios, que incluem maior durabilidade e menor necessidade de manutenção, alto desempenho e custo inferior ao asfalto.

Figura 29 - Ruas de tráfego baixo em Jequié (BA)



Fonte: ABCP (2025)

3.8.4.3 Requalificação urbana

O pavimento de concreto, com suas opções variadas, contribui para uma paisagem urbana única e de qualidade, facilitando a limpeza e valorizando os imóveis, o que atrai novos empreendimentos e promove o desenvolvimento urbano, conforme pode ser observado na Figura 30.

Figura 30 - Avenida requalificada com utilização dos PUC's.



Fonte: ABCP (2025).

3.8.4.4 Loteamentos / condomínios

Os pavimentos de concreto também podem ser utilizados para loteamentos e condomínios (Figura 31), garantindo durabilidade, baixa manutenção e segurança para os moradores. Sua versatilidade permite uma variedade de designs e acabamentos, complementando esteticamente o ambiente.

Figura 31 - Pavimentos de concreto em loteamentos.



Fonte: ABCP (2025).

3.8.4.5 Vicinais/ vias rurais

Os pavimentos de concreto também podem ser utilizados nas vias rurais (Figura 32) que ligam localidades ou cidades vizinhas, oferecendo resistência superior, durabilidade e menor necessidade de manutenção, garantindo vias confiáveis para o tráfego diário.

Figura 32 - Vias rurais em pavimento de concreto.



Fonte: ABCP (2025).

2.8.5 Benefícios ambientais dos pavimentos de concreto

De acordo com a ABCP (2020) “a vida útil do pavimento de concreto é significativamente maior que o flexível, implicando menor geração de resíduos, sendo esses ainda completamente recicláveis e menor número de intervenções para manutenção”.

Douglas (2024) ressalta que “uma das primeiras etapas na gestão eficiente dos resíduos de construção é a redução na geração de entulhos. Isso pode ser feito através de um planejamento cuidadoso das obras, evitando desperdício de materiais e utilizando métodos construtivos que gerem menos resíduos”.

Nesse sentido, os pavimentos de concreto saem na frente, uma vez que o concreto é um material totalmente reciclável, podendo ser triturado e reutilizado como agregado para a fabricação de novos concretos ou para a pavimentação de novos trechos. Isso não só diminui a necessidade de novos materiais, mas também reduz o volume de entulho enviado para aterros e, consequentemente, a contaminação do solo e da água.

Outro benefício da vida útil prolongada desse tipo de pavimento, devido ao menor número de intervenções para manutenção, é a diminuição dos congestionamentos, resultando em menor consumo de combustíveis e grande redução de emissões de gases produzidos pelos veículos, entre eles o CO₂.

Um dos fatores importantes para toda cidade é o conforto climático, aspecto em que o pavimento de concreto se destaca. De dia, reflete melhor a radiação solar, reduzindo o efeito de “ilha de calor” na cidade, trazendo diversos benefícios. Os PUC’s podem minimizar em até 4°C a temperatura ambiente e reduzir em até 17°C a temperatura da superfície das vias. (APCB, 2024).

Ao contrário de um ambiente quente e abafado, que concentra poluentes e impacta diretamente a saúde das pessoas, a temperatura amena representa maior qualidade de vida aos cidadãos, que ganham em motivação e produtividade.

“As superfícies claras contribuem para a redução da temperatura ambiente (cerca de 5%); como consequência os gastos com ar condicionado diminuem, reduzindo a poluição ambiental.” (“Heat Island Group” EUA Cool Communities *apud* Maschio [s.d]).

O cimento, material de que é feito o pavimento de concreto, também contribui com o meio ambiente no processo de fabricação do material. A indústria destrói em seus fornos, na forma de combustível (tecnologia chamada coprocessamento), inúmeros resíduos sólidos urbanos – principalmente pneus velhos –, que de outro modo seriam descartados no ambiente, servindo de abrigo a insetos e pragas (ABCP, 2024).

Diferentemente do asfalto, que utiliza derivados de petróleo em sua composição, o concreto é feito de materiais mais abundantes e com menor impacto ambiental. Ao reduzir a necessidade de manutenções frequentes, o pavimento rígido também diminui o consumo de recursos naturais e a emissão de poluentes decorrentes das obras de reparo.

Outro benefício significativo está relacionado ao uso de pavimento com concreto reforçado com fibras, que têm um impacto ambiental positivo, especialmente quando se considera a redução da quantidade de cimento necessária na mistura. A durabilidade desse tipo de pavimento e a manutenção com menos frequência, resultando em menos resíduos e menor consumo de recursos naturais. A utilização de materiais reciclados nas fibras também é um fator importante que contribui para a sustentabilidade do projeto (PAVSINAL, 2024).

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho, quanto à sua abordagem, foi a de pesquisa qualitativa, que tem como característica a objetivação de fenômenos, hierarquização das ações de descrever, explicar e compreender (GERHARDT e SILVEIRA, 2009).

Esta pesquisa orientou-se pela revisão bibliográfica que compreendeu consultas em artigos científicos, trabalhos de conclusão de curso, teses, dissertações e documentos de fonte eletrônica, obtidos, em sua maioria, por meio de plataformas de pesquisa científica, como Google Scholar e Scielo. Também foram utilizados os manuais de pavimentação do DNIT e uma diversidade de publicações da ABCP.

De posse dos materiais selecionados e, a partir de diversas leituras buscou-se identificar os principais conceitos relacionados tanto aos pavimentos de concreto quanto aos asfálticos, suas características técnicas, vantagens e desvantagens, e desafios para a implantação dos pavimentos de concreto em áreas urbanas, identificar os principais desafios dessa implantação, bem como apresentar suas diversas formas de aplicação.

Foi realizado também um estudo comparativo entre os dois tipos de pavimentos, com foco em diversos aspectos, como resistência, custos com manutenção, vida útil, segurança, bem como o impacto ambiental, quanto às temperaturas e gastos energéticos.

Considerando a importância da legislação para o desenvolvimento de projetos seguros e que atendam às exigências necessárias no que tange às obras de pavimentação foram analisados os critérios estabelecidos em diversas normas e manuais relacionados aos pavimentos de concreto.

Nesse sentido, quanto à sua natureza, a pesquisa pode ser caracterizada com exploratória, uma vez que este tipo de pesquisa envolve um levantamento bibliográfico apresentando uma análise de exemplos que estimulem a compreensão, proporcionando maior familiaridade com o problema, tornando-o mais explícito (GIL, 2007 *apud* GERHARDT e SILVEIRA, 2009).

O tópico relacionado aos resultados e discussões traz uma abordagem descritiva e prática, com o objetivo de apresentar detalhadamente cada etapa do processo de execução dos Pavimentos de Concreto Urbanos, através de pesquisas bibliográficas, análise técnica e descrição das etapas construtivas.

Os aspectos relacionados ao dimensionamento e orçamento não serão escopos deste trabalho, podendo estes serem objetos de pesquisas futuras.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Detalhamento do sistema construtivo dos PUC's

Nessa seção será apresentado o passo a passo da execução de um Pavimento Urbano de Concreto – PUC, com foco na metodologia utilizada pela Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP. Para isso, será utilizada a **norma DNIT 047/2004 – ES - Pavimento rígido – Execução de pavimento rígido com equipamento de pequeno porte - Especificação de serviço**.

Vale ressaltar que ainda não existe uma norma específica para a execução dos PUC's no Brasil, porém, dentre os diversos tipos de pavimentos de concreto existentes, conforme abordado anteriormente, na revisão de literatura, as normas que tratam sobre o Pavimento de Concreto Simples, podem ser utilizadas para esta finalidade. Isso ocorre porque os Pavimentos de Concreto Simples, assim como os PUC's, não contêm nenhum tipo de armadura com fins estruturais, pois os eventuais sistemas de ligação ou de transmissão de carga entre as placas formadas pelas juntas longitudinais e transversais não são considerados como armadura (ABCP, 2019).

É interessante pontuar também, que as normas técnicas do DNIT, referentes aos pavimentos rígidos descrevem, separadamente, o processo executivo de cada tipo de pavimento de concreto e, relacionam os tipos de equipamentos utilizados em cada um deles, inclusive equipamentos de pequeno porte.

5.1.1 Etapas da construção do pavimento de concreto

A norma DNIT 047/2004 – ES apresenta, de forma bem resumida, as etapas da execução do Pavimento de Concreto Simples, agrupando alguns serviços. Já a ABCP (2020), elenca alguns serviços separadamente, dentro das etapas, conforme sequência a seguir:

- a) Preparo da pista (assentamento das fôrmas e nivelamento);
- b) Produção do concreto;
- c) Transporte do concreto;
- d) Execução das juntas de construção;
- e) Armadura e telas
- f) Lançamento, espalhamento e adensamento do concreto;
- g) Nivelamento
- h) Acabamento do concreto;
- i) Texturização;
- j) Cura;
- k) Desmoldagem
- l) Proteção da pista com concreto fresco;
- m) Corte das juntas
- n) Selagem das juntas.

5.1.2 Equipamentos empregados na execução de pavimentos de concreto em geral

Os equipamentos empregados na execução de pavimentos de concreto devem ser compatíveis com as características da obra e a necessidade de produtividade. A ABCP, com base nas normas vigentes do DNIT, voltadas para esse tipo de pavimento, divide esses equipamentos em três grupos:

5.1.2.1 Equipamentos de Pequeno Porte

Aqui estão incluídas as réguas (Figura 33) e treliças vibratórias (Figura 34), capazes de produzir de 100 a 200 m/dia.

Figura 33 - Régua vibratória



Fonte: Agromata (2025).

Figura 34 - Treliça vibratória



Fonte: Alibaba.com (2025).

5.1.2.2 Fôrmas -Trilho

Nesse caso, são utilizadas as pavimentadoras de rolos vibratórios (Figura 35), podendo produzir uma média de 250 a 350 m/dia.

Figura 35 - Pavimentadora de rolo vibratório



Fonte: Alibaba.com (2025).

5.1.2.3 Fôrmas Deslizantes

As pavimentadoras com fôrmas deslizantes (Figura 36) podem produzir em média, 300m -1200 m/dia, porém requerem usinas dosadoras/misturadoras.

Figura 36 - Pavimentadoras com fôrmas deslizantes



Fonte: Alibaba.com (2025).

Essas pavimentadoras têm a função de aplicar o concreto e executar o nivelamento da pista em construção de pavimentos rígidos. Este equipamento se movimenta através de quatro esteiras de borracha maciça, que são controladas por um sistema hidráulico, capaz de fazer manobras e curvas.

5.1.3 Equipamentos empregados na execução dos PUC's.

Para a elaboração do passo a passo da execução dos Pavimentos Urbanos de Concreto – PUC's - um tipo de Pavimento de Concreto Simples - que será apresentado posteriormente, utilizar-se-á a metodologia da ABCP, que emprega o equipamento de pequeno porte, estabelecido na NORMA DNIT 047/2004 – ES.

Antes, porém, serão apresentados alguns equipamentos complementares aos de pequeno porte já descritos, bem como algumas ferramentas e acessórios que serão necessários para a execução, recomendados pela norma supracitada

a) Fôrmas metálicas

As fôrmas metálicas são utilizadas para conter o concreto fresco, e ao mesmo tempo, servir como guias para a movimentação das unidades de distribuição e adensamento do concreto, devendo ser montadas sobre rodas, no caso da utilização do equipamento Fôrmas -Trilho.

Essas fôrmas podem ser longitudinais (Figura 37), assentadas no sentido do comprimento do pavimento, compostas por barras de ligação, transversais, assentadas na largura do pavimento, contendo furos para inserção das barras de transferência.

Figura 37 - Fôrmas metálicas longitudinais com barras de ligação



Fonte: PUC (2023).

Nas fôrmas de metal de até 20cm de altura, a superfície que se apóia sobre o terreno deve ter no mínimo 20 cm de largura; já nos casos de fôrmas mais altas, a largura deverá ser no mínimo igual à altura.

As fôrmas devem possuir dispositivos que garantam sua perfeita fixação ao solo, a intervalos máximos de 1m, proporcionando posterior remoção, sem prejuízo para o pavimento executado.

O sistema de união das fôrmas deve permitir uma ajustagem correta, impedindo assim, qualquer desnivelamento ou desvio.

b) Distribuidora de concreto

Essa distribuidora deve ser regulável e com tração própria, podendo ser constituída por uma caçamba distribuidora de concreto (Figuras 38), na direção transversal à faixa de concretagem, ou de um cabeçote distribuidor que trabalha sobre um travessão metálico, também transversal à faixa de concretagem (DNIT, 2004).

Figura 38 - Caçamba para distribuição de concreto



Fonte: Cimm (2025).

Na metodologia da ABCP, no caso de obras com equipamento de fôrmas deslizantes, são utilizados caminhões basculantes (Figura 39) para a distribuição do concreto, que é produzido numa central próxima ao canteiro de obras; já em obras que se utiliza equipamentos de pequeno porte e fôrmas - trilho, utiliza-se caminhões betoneiras (Figura 40).

Figura 39 - Caminhões basculante para distribuição do concreto



Fonte: Transpontes Locações (2013).

Figura 40 - Caminhões betoneira para distribuição do concreto



Fonte: Agrofy (2025).

c) Vibradores de imersão

Os vibradores de imersão (Figura 41) podem ser elétricos ou à gasolina e devem apresentar o diâmetro externo de no máximo 40mm, com frequência igual ou superior a 60Hz (3600rpm).

Figura 41 - Vibrador de imersão elétrico



Fonte: LF, máquinas e ferramentas (2025).

d) Vibro-acabadora

A vibro-acabadora (Figura 42) ou pavimentadora é um equipamento utilizado em obras de pavimentação, que tem como funções aplicar, nivelar e compactar o concreto, no caso do pavimento rígido. Deve ter a bitola de bitola ajustável, com frequência de no mínimo 3500 vibrações/min.

Figura 42 - Vibro-acabadora para pavimentação



Fonte: JC Pavimentação (2025)

e) Régua alisadora ou acabadora

A régua alisadora ou acabadora (Figura 43) é um equipamento utilizado para dar acabamento em pisos de concreto. Ela auxilia no nivelamento, na compactação e no alinhamento do concreto, tornando a superfície mais uniforme. Essa régua pode ser diagonal ou não, tubular ou oscilante, de bitola ajustável.

Figura 43 - Régua alisadora ou acabadora



Fonte: Casa do Construtor (2025)

f) Perfil metálico tipo “T”

Esse perfil metálico tipo “T” (Figura 44) é utilizado para a execução de juntas moldadas, ou seja, juntas que permitem tanto a dilatação quanto a contração do concreto sem causar danos ao pavimento.

Figura 44 - Perfil metálico tipo "T"



Fonte: Dacinox (2025).

g) Máquina de serrar juntas

Essas máquinas devem possuir disco diamantado (Figura 45) com diâmetro e espessura apropriados, que possibilitem fazer a ranhura e o reservatório do selante com as dimensões especificadas em projeto.

Figura 45 - Máquina de serrar juntas com disco diamantado



Fonte: Fortemac (2025).

h) Ponte (ou plataforma) de serviço

Esta ponte (ou plataforma) de serviço, representada na Figura 46, deve ser rígida o suficiente para não fletir e possuir comprimento igual à largura da placa de concreto mais 50 cm.

Figura 46 - Ponte de serviço para pavimentação



Fonte: ABCP (2020).

i) Rolo de cabo longo

O rolo de cabo longo (Figura 47) tem a função espalhar e nivelar o concreto, deve ser preferencialmente de alumínio, com formas arredondadas.

Figura 47 - Rolo de cabo longo duplo



Fonte: Betontools (2024).

j) Desempenadeira de madeira

A desempenadeira de madeira (Figura 48) é usada para remover ondulações e desníveis, tornando a superfície plana e uniforme. Ela deve possuir uma área útil de, no mínimo, 450 cm².

Figura 48 - Desempenadeira de madeira



Fonte: Mercado Livre (2025).

k) Régua para nivelamento

Esta régua para nivelamento (Figura 49), deve ser de madeira ou alumínio de 3 m de comprimento e com rigidez suficiente para não fletir.

Figura 49 - Régua de alumínio para nivelamento



Fonte: Leroy Merlin (2025).

l) Equipamento e acessórios para acabamento superficial das placas

Aqui estão incluídas as vassouras de fios de nylon (Figura 50), que devem possuir fios suficientemente rígidos para provocar ranhuras na superfície do pavimento, as vassouras de

piaçava (Figura 51), as vassouras de fio plano, uma espécie de “pente de metal” (Figura 52) e as tiras de lona de 0,25 m x 4,00 m.

Figura 50 - Vassouras de fios de nylon



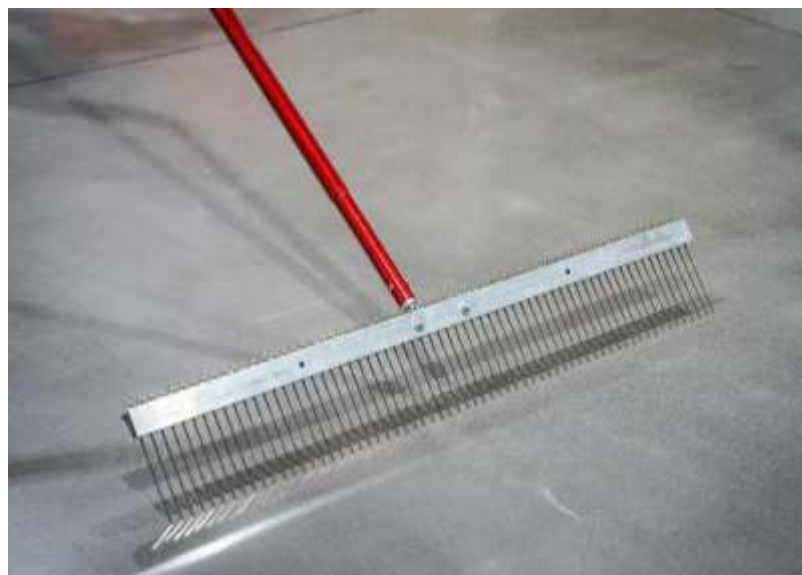
Fonte: Dutra Máquinas (2025).

Figura 51 - Vassoura de Piaçava



Fonte: Mercado Livre (2025).

Figura 52 - Vassoura de fio plano (“pente de metal”)



Fonte: Alibaba.com (2025).

m) Ferramentas com ponta de cinzel

Essas ferramentas com ponta de cinzel (Figura 53) são utilizadas para penetrar nas juntas, já serradas anteriormente, com o objetivo de remover o material excedente.

Figura 53 - Ferramenta com ponta de cinzel



Fonte: Anhanguera Ferramentas (2025).

n) Compressor de ar comprimido

O compressor de ar comprimido (Figura 54) será utilizado para a limpeza das juntas após a remoção do material excedente com as ferramentas de ponta de cinzel. Para isso, deve ser composto de uma mangueira de 12m de comprimento e 12mm de diâmetro com bocal (Figura 55) para possibilitar o direcionamento do jato de ar para dentro da junta.

Figura 54 - Compressor de ar comprimido



Fonte: Mercado Livre (2025).

Figura 55 - Mangueira com bocal para direcionar o jato de ar



Fonte: Amazon (2025).

o) Desempenadeira de borda com cabo curto

Essa desempenadeira de borda com cabo curto (Figura 56) é utilizada para acabamento de cantos das juntas moldadas.

Figura 56 - Desempenadeira de borda com cabo curto



Fonte: Mercado Livre (2025).

5.2 Passo a passo executivo dos PUC's com equipamentos de pequeno porte

A execução do Pavimento Urbano de Concreto inicia-se logo após a regularização do subleito, que deve ser realizada segundo o procedimento da Norma DNER-ES 299/97 e se necessário, reforçado do modo indicado na norma DNER-ES 300/97, bem como da execução da sub-base, que será executada de acordo com as especificações estabelecidas pelo DNIT para o tipo projetado, devendo ser mantida sua conformação geométrica até a ocasião da execução do pavimento de concreto (ABCP, 2020). A seguir serão apresentadas todas as etapas para a execução do pavimento propriamente dito.

5.2.1 Preparação da pista

5.2.1.1 Assentamento das fôrmas

Após a finalização da sub-base, inicia-se o preparo da pista, com o assentamento das fôrmas e o seu nivelamento. O primeiro passo é o assentamento das fôrmas, que deve ser, preferencialmente, metálica e com as características descritas anteriormente. Esse procedimento deve ser realizado conforme critérios estabelecidos na norma DNIT 047/2004 – ES, visando um pavimento de qualidade ao término da execução.

Dentre as exigências estabelecidas na referida norma no que tange ao assentamento das fôrmas estão:

- a) Deverão ser assentadas à camada subjacente e ficar suficientemente firmes, com base no alinhamento do eixo da pista;
- b) Deverão ser fixadas com ponteiros de aço, a cada metro, no máximo;
- c) Deve-se calçá-las em toda a sua extensão.

Conforme as exigências descritas acima, ressalta-se a importância das fôrmas estarem suficientemente firmes e alinhadas, garantindo assim um pavimento com menos imperfeições ao final da execução, bem como prevenindo a ocorrência de retrabalhos, caso haja deslocamento de alguma fôrma, bem como prejuízos financeiros. A Figura 57 representa a fixação e o calçamento dessas fôrmas, conforme exigência b) e c).

Figura 57 - Fôrmas longitudinais apoiadas e fixadas em toda sua extensão

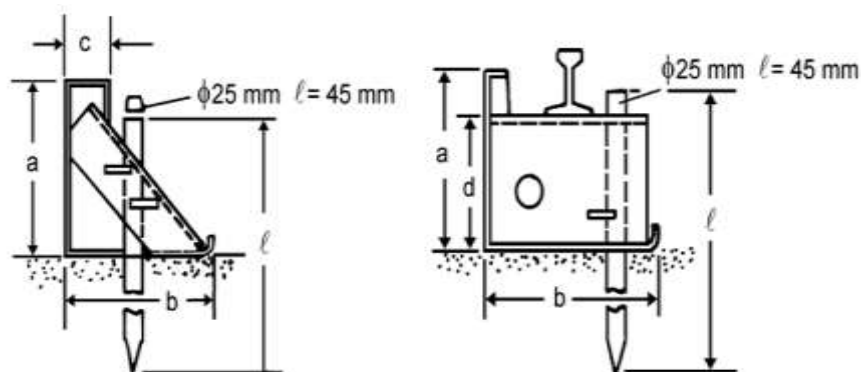


Fonte: Adaptada de Pinheiro (2024)

Observa-se que a fixação em intervalos de 1 m proporciona maior firmeza, impedindo assim, o seu deslocamento, quando do lançamento, adensamento e nivelamento do concreto, bem

como permite que as mesmas suportem os esforços e movimentos ocasionados pelo trabalho executado. A Figura 58 representa como é feita a fixação dessas fôrmas com ponteiros de aço ou ferro.

Figura 58 - Esquema da fixação das fôrmas com ponteiros de aço ou de ferro



Fonte: Pitta (1998, p.37)

Outro ponto importante, que contribui também para o alinhamento e firmeza das fôrmas ao longo da pista, são os apoios utilizados entre os pontos de fixação, ou seja, entre esse intervalo de 1m estabelecido na norma, também representados na figura acima.

Pitta (1998) ressalta que é fundamental que, no ato de colocação das fôrmas, as irregularidades de apoio sejam corrigidas com calços e, em seguida, preenchem-se os vazios entre a base da fôrma e a fundação do pavimento com uma argamassa fraca de cimento e areia (sugere-se uma proporção, em massa, de 1:8).

O autor supracitado ainda reforça que o assentamento das fôrmas deve obedecer aos alinhamentos longitudinais e transversais determinados por marcos providos de centros de referência, postados a cada 40 m de ambos os lados da pista, nos trechos em tangente; a distância recomendada nas curvas é de 10 m, no máximo.

5.2.1.2 Alinhamento e nivelamento das fôrmas

A norma supracitada estabelece que o topo das fôrmas deverá coincidir com a superfície de rolamento prevista, fazendo-se necessária a verificação do alinhamento e do nivelamento, admitindo-se desvios altimétricos de até 3mm e diferenças planialtimétricas não superiores a 5mm com relação ao projeto (DNIT, 2004). Nesse sentido, essa inspeção deverá ser realizada por um topógrafo, que poderá utilizar um nível óptico ou nível *laser*, conforme representados nas Figuras 59 e 60.

Figura 59 - Nível óptico



Fonte: Alpha Piso (2025)

Figura 60 - Nível laser



Fonte: Tratamento Piso (2025)

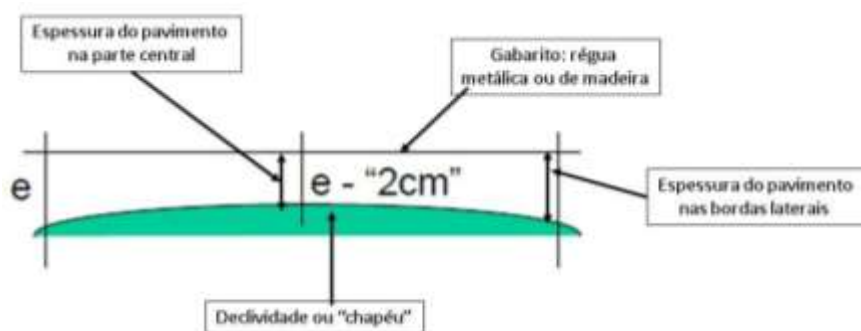
Esse equipamento também será utilizado durante a concretagem para conferência ou no sistema de reguamento por “mestra úmida”. Portanto, caso opte-se pelo nível *laser*, deve-se tomar alguns cuidados especiais quanto à guarda e transporte, para não influenciar na calibragem, uma vez que ele é bastante sensível quanto a batidas e quedas; quanto à aferição, que deve ser feita a cada seis meses de uso e, dispor sempre um kit reserva de baterias, pois os mesmos são recarregáveis (PINHEIRO e JÚNIOR, 2024).

5.2.1.3 Verificação do fundo de caixa

A norma também estabelece que “deverá ser feita a verificação do fundo de caixa, não se admitindo espessura, ao longo de toda a seção transversal, inferior à especificada no projeto” (DNIT, 2024).

Pitta (1998) afirma que “no caso exclusivo de uso do equipamento reduzido ou sobre fôrmas-trilhos, a inspeção pode ser feita, após a fixação das fôrmas laterais, pela passagem do chamado gabarito de fundo de caixa”. A utilização desse gabarito, conforme representado na Figura 61, possibilita detectar correções que deverão ser realizadas na fundação. Na Figura 62 é possível ver na prática esse conceito, sendo executado em uma pavimento de concreto.

Figura 61 - Esquema da verificação do fundo de caixa com gabarito



Fonte: Adaptado de Maschio (2020)

Figura 62 - Verificação do fundo de caixa na execução de pavimento de concreto



Fonte: ABESC (2025).

O engenheiro especialista, Alexsander Maschio, em sua participação no *Minicurso sobre Pavimento Urbano de Concreto para Baixo e Médio Tráfego – Baixas Espessuras*, realizado pela ABCP, ressaltou a importância dessa verificação, principalmente quando se executa o pavimento em vias urbanas, impossibilitando o fechamento da via em sua totalidade. Segundo ele, já existem

alguns equipamentos, como as réguas e treliças vibratórias, que é possível fazer a declividade na via, ou seja, fazer o famoso “chapéu”.

Nos casos em que não se utilizam esses equipamentos, “eu vejo muito acontecer, o pessoal coloca a forma aqui do lado, 14 centímetros, por exemplo, coloca a forma do outro lado, 14 centímetros, esquece que já fez o chapéu, a declividade na base e aí o meio fica com 10, 9 e aí você tem uma espessura inferior”, pontua ele.

Uma maneira de contornar essa situação, segundo ele, é fazer uma declividade só ou executar em duas etapas para manter essa declividade. Porém, ele ainda reforça que “deve-se tomar cuidado e atentar para esse ponto que é muito comum de erro”.

Portanto, percebe-se que essa verificação é indispensável, uma vez que qualquer deformidade no fundo de caixa compromete a qualidade do pavimento, tornando-o mais instável e afetando sua durabilidade. Nesse sentido, todas as imperfeições devem ser corrigidas, antes de se prosseguir com as demais etapas, de modo que se tenha um fundo de caixa bem compactado, evitando assim os recalques, trincas e até mesmo o colapso do pavimento, depois de pronto.

5.2.1.4 Disposição de película impermeabilizante e isolante

Após a verificação de fundo de caixa e possíveis intervenções e correções, em alguns casos, pode ser recomendado a utilização de película impermeabilizante e isolante, como por exemplo a lona (Figura 63), sobre a superfície de sub-base. Caso seja necessária, deve-se verificar se está adequadamente esticada e se as emendas são feitas com recobrimento de, no mínimo, 20cm (DNIT, 2004).

Figura 63 - Sub-base coberta com lona antes da concretagem



Fonte: Campos (2019).

Assim como nas demais obras da construção civil, os pavimentos também necessitam de um plano de impermeabilização, garantindo assim, o isolamento e a proteção de passagens

indesejadas de vapores e líquidos que podem prejudicar a superfície concretada, evitando com isso, o surgimento de possíveis manifestações patológicas precocemente. Esse processo contribui para manter as condições de durabilidade e resistência do pavimento.

Nesse sentido, a NORMA DNIT 047/2004 – ES recomenda outros materiais com a mesma finalidade, como por exemplo, o papel do tipo “kraft” betumado, com gramatura mínima igual a 200g/m², contendo uma quantidade de cimento asfáltico de petróleo ou alcatrão não inferior a 60g/m², bem como a pintura betuminosa, executada com emulsões asfálticas catiônicas de ruptura média, com taxa de aplicação entre os limites de 0,8 l/m² e 1,6 l/m².

5.2.1.5 Aplicação de desmoldante nas fôrmas

As fôrmas deverão ser untadas de modo a facilitar a desmoldagem, conforme estabelecido na referida norma. Esse procedimento torna-se necessário, pois evita que restos de concreto fiquem aderidos na fôrma. Nesse sentido, utiliza-se os desmoldantes, que nada mais são do que produtos que, segundo Nakamura (2020), “têm como objetivo principal criar uma película fina entre as fôrmas e o concreto, evitando a aderência entre os materiais e facilitando o processo de desforma”. Ainda segundo a autora, o desmoldante para concreto é um produto líquido, capaz de criar uma fina camada oleosa entre os materiais, permitindo o reaproveitamento da fôrma utilizada.

É importante ressaltar que, a escolha do desmoldante apropriado depende do tipo de material que compõe a fôrma. No caso das fôrmas metálicas, conforme recomendações de fabricantes, indica-se os que são compostos por óleos puros, pois aqueles à base de óleos emulsionados com água, podem contribuir para a oxidação das mesmas.

Os desmoldantes podem ser aplicados com rolo, trincha (uma espécie de pincel plano e largo) ou até mesmo aspergidos com um pulverizador costal, conforme representado na Figura 64, que de modo geral, são os mais recomendáveis, pois formam uma película mais homogênea.

Figura 64 - Aplicação de desmoldante por aspersão



Fonte: Cadium: A solução em lubrificação (2020).

5.2.2 Produção do concreto

5.2.2.1 Logística de produção

De acordo com a norma DNIT 047/2004 – ES, o concreto poderá ser produzido em betoneiras estacionárias (Figura 65) ou em centrais (Figura 66), podendo os materiais serem medidos tanto em massa como em volume, exceto o cimento, que sempre deverá ser medido em massa. Ainda conforme a norma, nos casos em que o concreto for fornecido por usina comercial (Figura 67) deverão ser atendidas as condições estipuladas na norma ABNT NBR 7212/2012 – Execução de concreto dosado em central - Procedimento, que estabelece os requisitos para a execução de concreto dosado em central e inclui as operações de armazenamento dos materiais, dosagem, mistura, transporte, recebimento, controle de qualidade e inspeção, incluindo critérios de aceitação e rejeição do controle interno da central de concreto (ABNT, 2012).

Figura 65 - Betoneira estacionária



Fonte: CHHGC (2023).

Figura 66 - Centrais dosadora e misturadora de concreto



Fonte: Top Mix (2025)

Figura 67 - Concreto pré-misturado fora da obra



Fonte: Concregel (2020).

De acordo com Pitta(1998), de qualquer modo, independentemente do tipo de instalação, a capacidade de concreto produzida deve ser compatível com a máxima produtividade do equipamento de concretagem do pavimento e o concreto fabricado precisa atender aos requisitos de qualidade especificados na norma anteriormente citada neste tópico.

5.2.2.2 Volume de produção versus equipamento

Pitta (1998) ainda reforça que o equipamento a ser utilizado para produção do concreto depende do volume total da concretagem e da demanda horária de concreto, conforme descrito a seguir:

- a) de 5 m³ a 6 m³ por hora, quando se utiliza equipamento reduzido, deve-se utilizar as betoneiras manuais de pequeno porte;
- b) até 70 m³ por hora ou mais, no caso das pavimentadoras de fôrmas deslizantes, é recomendável as centrais automáticas;
- c) 10 m³ por hora, não é viável a instalação de centrais dosadoras, sendo preferível a utilização de concreto pré-misturado; isto não sendo possível, pode-se utilizar uma ou mais misturadoras de obra, com capacidade nominal de 750 litros ou 1.000 litros e produção horária efetiva de 4 m³ a 6 m³ de concreto;

- d) de 15 m³ a 20 m³ por hora, pode-se utilizar as misturadoras acopladas a alimentadores e balanças dosadoras de agregados (até quatro granulometrias diferentes) e cimento;
- e) de 30 m³ por hora, pode-se utilizar a central dosadora, alimentada por pá-carregadora e que necessita trabalhar conjugada com caminhão-betoneira, por não possuir misturador;
- f) 50 m³ por hora, para obras de maior porte são utilizadas centrais equipadas com betoneiras do tipo contracorrente.

5.2.3 Produção do concreto

De acordo com Pitta (1998), a produção do concreto envolve as operações de medição e de mistura dos materiais.

5.2.3.1 Medição dos materiais

A medição dos materiais depende do tipo de central de concreto, podendo ser :

- a) **Gravimétrica:** quando é executada em massa;
- b) **Volumétrica:** quando a medida das quantidades de agregados é feita em volume. Esse tipo de medida só é admissível em pequenas obras; mesmo nesses casos, o cimento deve ser medido em massa, admitindo-se que os sacos tenham 50 kg;

Deve-se determinar a curva de inchamento da areia e fazer a correção do seu volume, de acordo com o teor de umidade no instante da mistura.

O erro máximo admissível na medição volumétrica dos agregados é de $\pm 3\%$. A medição gravimétrica dos materiais deve ser conduzida de forma a garantir as seguintes tolerâncias: cimento: $\pm 1\%$; água: $\pm 1\%$; agregados: $\pm 2\%$; aditivos: $\pm 3\%$.

As balanças utilizadas devem ter precisão mínima de 0,4% de sua capacidade total. Uma alternativa para a quantificação da água é o emprego de hidrômetros, desde que garantam precisão de $\pm 1\%$ no volume; pode ser adotada para a água a massa específica de 1.000 kg/m³.

5.2.3.2 Mistura dos materiais

As misturadoras de materiais, ainda de acordo com Pitta (1998) podem ser de dois tipos:

- a) **por tombamento:** nesse caso faz-se com misturadoras de eixo horizontal ou inclinado; os tambores possuem paletas internas que erguem os materiais, deixando-os cair do ponto mais alto;
- b) **forçada:** são geralmente de eixo vertical, existindo também modelos com eixo horizontal.
 - b₁) Eixo vertical - tambor fixo;
 - b₂) Eixo horizontal.

Geralmente as misturadoras forçadas costumam ser mais eficientes do que os demais tipos, resultando na economia de materiais — principalmente de cimento.

A qualidade do concreto produzido, que se avalia pelo grau de homogeneidade, depende tanto do tipo da mistura mas, como do tempo de processamento e da forma como os materiais são lançados na misturadora.

O tempo ótimo da mistura deve ser determinado experimentalmente com os materiais e a misturadora que serão utilizados na obra. Como primeira estimativa podem-se usar os valores do Quadro 4.

Quadro 4 - Tempo mínimo recomendado para a mistura dos materiais, em função da capacidade da misturadora.

Capacidade da misturadora (m³)	Tempo mínimo recomendado de mistura (min/seg)
até 1,5	01:30
2,5	02:00
3,0	02:30
4,0	02:45
4,5	03:00

Fonte: Pitta (1998, p. 44).

Os materiais devem ser colocados na seguinte ordem:

1º: todo o agregado graúdo e parte da água;

2º: todo o cimento;

3º: toda a areia e o restante da água.

À medida que forem sendo colocados os materiais, deve-se acionar o misturador por alguns segundos ou mantê-lo ligado durante a colocação dos materiais.

Quanto aos aditivos líquidos, se forem usados, devem ser lançados juntamente com a água de amassamento do concreto; quando em pó, devem ser introduzidos juntamente com o cimento.

A homogeneidade da mistura pode ser verificada com ensaios físicos do concreto, tomando-se uma amostra no começo e outra no fim da descarga; as diferenças máximas admissíveis (para mais ou para menos) são:

a) abatimento: 1 cm ou 20% da média aritmética;

b) teor de agregado graúdo: 6%; teor de cimento: 7%;

c) resistência à compressão aos 7 dias: 7,5% da média aritmética;

d) massa específica: 16 kg/m³.

5.2.3.3 Adição de macrofibras no concreto

A adição da macrofibra pode ser feita na central de concreto inserindo – a diretamente na esteira junto aos agregados (Figura 68) ou na chegada do caminhão na obra (Figura 69), devendo

então proceder a homogeneização batendo o caminhão durante 2 min para cada m³ de concreto (JÚNIOR e PINHEIRO, 2024).

Figura 68 - Adição de macrofibras na esteira junto aos agregados



Fonte: 360 em Concreto (2025)

Figura 69 - Adição de macrofibras no caminhão betoneira



Fonte: Wolf na Engenharia (2025)

- Sequência do depósito dos materiais na betoneira quando se adicionam as macrofibras

Sobre a adição na betoneira, Nsumbu (2019), apresenta em sua experiência para a dissertação de mestrado, a sequência da mistura das macrofibras no concreto no processo convencional. Primeiramente, é feita a pré-mistura à seco dos componentes, permitindo assim, uma boa homogeneização antes mesmo do lançamento na betoneira e, posteriormente, a adição de água e do aditivo. Segundo ele, a ordem dessa mistura a seco inicia-se com o agregado miúdo

e o cimento, obtendo-se assim uma mistura bem homogênea dos dois materiais. Em seguida, adiciona-se as macrofibras sintéticas, e por fim os agregados graúdos, que contribuem para desagregar e espalhar melhor as fibras, conforme apresentado na Figura 70

Figura 70 - Resultado da mistura do Concreto Reforçado com Fibras.



Fonte: Reprodução de: Nsumbu (2019, p. 40).

Ainda conforme o autor, quando não se executa essa mistura, as fibras ficam soltas e grudadas nas paredes da betoneira e, isto se dá devido às características hidrofóbicas das fibras, que repelem as moléculas de águas e apresentam uma adesão bem reduzida com cimento. Com isso, ocorre uma redução substancial no teor de fibras incorporadas nas moldagens de corpos de prova, com consequente alteração nos resultados finais.

- Normatização do Concreto Reforçado com Fibras - CRF

Conforme apontado no referencial teórico deste trabalho, ainda não existe uma norma específica para a execução dos PUC's no Brasil, porém por se tratar de um tipo de pavimento que não contém nenhum tipo de armadura com fins estruturais, utiliza-se então as normas relacionadas ao Pavimentos de Concreto Simples. Vale ressaltar que existem outras diversas normas referentes ao Concreto Reforçado com Fibras – CRF, que também podem ser consultadas quando da produção desse tipo de concreto para os pavimentos urbanos.

Internacionalmente, o CRF é regulamentado por meio da Norma ISO 13.270 – que avalia o desempenho do compósito como um todo (fibra de aço + concreto).

No Brasil, segundo a IBRACON, devem ser observadas as seguintes normas:

ABNT NBR 15530 – Requisitos e Métodos de Ensaio de Fibras de Aço para Concreto

ABNT NBR 14.931 – Execução de Estruturas de Concreto

ABNT NBR 16.935 – Projeto de Estruturas de Concreto Reforçado com Fibras

ABNT NBR 16.938 – Controle da Qualidade do Concreto Reforçado com Fibras

ABNT NBR 16.939 e a ABNT NBR 16.940 – Procedimentos de Ensaio

ABNT NBR 16.941 – Requisitos e Métodos de Ensaio de Fibras de Vidro

ABNT NBR 16.942 – Requisitos e Métodos de Ensaio de Fibras Poliméricas

De acordo com Marco Antônio Cárnio, engenheiro civil pela Escola de Engenharia de Piracicaba (1985), mestre em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas (1998) e doutor em Engenharia Mecânica pela Unicamp (2009):

“Antes das normas brasileiras e, portanto, antes dos ensaios para qualificar melhor o material, usava-se como referências determinados consumos clássicos de fibras: 25 a 30kg de fibras de aço e 5 a 6kg da fibras poliméricas por metro cúbico, para atender ao requisito de projeto. Com a publicação das normas, ao invés de dosagens fixas de fibras, estabelecem-se critérios de desempenho para o concreto com fibras, o que requer fazer ensaios para validar esses critérios especificados no projeto”.

Diante disso, segundo ele, surgiram algumas surpresas agradáveis: determinados consumos de fibras, imaginados como ideais, foram sendo diminuídos para muitas aplicações, porque o critério de desempenho, fazendo os ensaios, fazendo controle mais adequado, propiciou fazer uso mais adequado da dosagem de fibras. “Em suma: a diferença de ter a norma é ter uma obra, do ponto de vista técnico e econômico, mais viável”, conclui.

5.2.4 Transporte do concreto

Dependendo das características da obra e do tipo de equipamento utilizado, o transporte poderá ser realizado de diversas formas. Como esse passo a passo está voltado para uma obra de vias urbanas com a utilização de equipamento de pequeno porte, a norma recomenda que o transporte seja feito através de caminhões betoneira (Figura 72) ou em equipamento capaz de evitar a segregação dos materiais componentes da mistura, como as caçambas distribuidoras (Figura 73). O período máximo permitido por norma para o transporte da mistura (a partir da adição da água) e o lançamento do concreto varia conforme o transporte utilizado.

Figura 71 - Caminhão betoneira para transporte de concreto



Fonte: Concregell (2025).

Figura 72 - Caçambas distribuidoras de concreto



Fonte: Campos (2019, p. 15).

No caso em que se utiliza os caminhões betoneira, no qual ocorre a agitação do concreto durante o transporte e a descarga, o tempo permitido é de até 90 minutos; já para o transporte em caçambas distribuidoras, nas quais o concreto não é agitado durante o transporte, esse tempo se reduz à 30 minutos, sendo proibida a redosagem sob qualquer forma.

É importante ressaltar que o dimensionamento adequado da quantidade de caminhões necessários para a execução dos serviços é fator fundamental para evitar atrasos no abastecimento na frente de serviço.

5.2.5 Execução das juntas de construção

5.2.5.1 Juntas longitudinais de construção com barras de ligação

A NORMA DNIT 047/204 – ES, que trata das exigências para a execução dos pavimentos rígidos com a utilização de processo mecânico com equipamento de pequeno porte estabelece que “o pavimento deverá ser executado em faixas longitudinais parciais, devendo a posição das juntas longitudinais de construção coincidir com a das longitudinais de projeto.

Nesse sentido, Pitta (1998) divide as juntas longitudinais em dois tipos: de construção e de seção enfraquecida, com ou sem barras de ligação. Nos casos em que se executa meia pista de cada vez (um faixa de tráfego), tem-se a junta **longitudinal de construção**, com a utilização de fôrmas de contenção dotadas de furos para o correto posicionamento das barras de ligação, conforme representado na Figura 73, sendo permitido a utilização de qualquer tipo de equipamento de espalhamento. Aqui as barras de ligação, que devem ser de aço corrugado (enrugado), normalmente do tipo CA 50, não têm a função de transferir cargas, apenas de transmitir esforços verticais entre as placas, evitar a movimentação horizontal e restringir o

empenamento das placas. Rodrigues (2008) ressalta que as juntas longitudinais de construção devem ficar situadas fora das trilhas de tráfego, conforme observado na representação abaixo. .

Figura 73 - Juntas de construção com fôrmas de contenção dividindo as duas pistas



Fonte: Júnior e Pinheiro (2024).

Após a retirada da fôrma da junta, a face lateral da placa será pintada com material apropriado que impeça a aderência entre a faixa executada e a futura faixa.

Já nos casos em que a pista é executada na sua totalidade (duas faixas de tráfego), a junta é denominada **junta longitudinal de seção enfraquecida** e, o equipamento de espalhamento deve ser compatível com a largura da pista. Aqui não se utiliza fôrmas no centro da pista, sendo necessário a locação das barras de ligação exatamente nesse ponto, conforme Figuras 74 e 75.

Figura 74 -Barras de ligação "chumbadas" no centro do pavimento antes da concretagem.



Fonte: Campos (2019)

Conforme a ilustração, executou-se uma espécie de base em concreto para a fixação das barras de ligação, com o objetivo de manter um espaçamento correto entre ela e evitar a movimentação das mesmas no momento da concretagem.

Figura 75 - Disposição das barras de ligação no centro do pavimento para



Agência Brasília (2022).

De acordo com ilustração acima, como não foram utilizadas fôrmas no centro da pista, as barras de ligação foram posicionadas exatamente nesse local. Nesse caso, foram utilizados espaçadores treliçados para o correto posicionamento das barras de ligação, conforme representado na Figura 76.

Figura 76 - Espaçador treliçado para distribuição uniforme das barras de ligação



Fonte: Casa do Serralheiro (2021).

Esse dispositivo é essencial para garantir o alinhamento e o espaçamento dentro da junta, bem como garantir o dimensionamento uniforme das barras antes da concretagem e, evitar o deslocamento destas, durante a concretagem.

Para se evitar o deslocamento do conjunto (espaçador + barras de ligação), deve-se fixar o espaçador no solo, conforme representado na Figuras 77 e 78.

Figura 77 - Fixação do espaçador treliçado ao solo



Fonte: Campos (2019).

Figura 78 - Espaçador treliçado fixado ao solo



Fonte: Campos (2019).

As barras de ligação devem ser de aço, ter o diâmetro, espaçamento e comprimento definidos no projeto e estarem limpas e isentas de óleo ou qualquer substância que prejudique sua aderência ao concreto (DNIT, 2004).

5.2.5.2 Juntas transversais de construção com barras de transferência

De acordo com o DNIT (2004), ao fim de cada jornada de trabalho, ou sempre que a concretagem tiver de ser interrompida por mais de 30 minutos, deverá ser executada uma junta

de construção, cuja posição deve coincidir com a de uma junta transversal indicada no projeto. Nesse sentido, deve-se colocar fôrmas metálicas (Figura 79), no sentido transversal ao tráfego. Essas fôrmas devem ser dotadas de furos para distribuição uniforme das barras de transferência de cargas, conforme detalhe representado na Figura 80.

Figura 79 - Execução de junta de construção transversal



Fonte: ABESC (2015)

Figura 80 - Detalhe da instalação da fôrma metálica na junta de construção transversal



Fonte: Campos (2019)

No detalhe acima é possível observar a fôrma metálica fixada à superfície por um vergalhão, garantindo assim, sua imobilidade na adequada posição, mantendo-as paralelas à superfície acabada e ao eixo longitudinal do pavimento. É possível observar também, barras de aço, lisas e retas e que a parte “em espera” (metade +2cm) da barra de transferência é pintada, devendo ser também engraxada, conforme estabelecido na .NORMA DNIT 047/2004, com o objetivo de

permitir a movimentação da junta quando das futuras variações térmicas, podendo ser também revestida com material capaz de impedir a aderência entre o aço e o concreto (PITTA, 1998).

A Figura 81 representa a distribuição do conjunto (espaçador + barras de transferência), que serão fixados na sub-base nos espaços entre as juntas de construção transversais, onde não houver fôrmas metálicas instaladas, garantindo assim, que não haja movimentação do conjunto no momento da concretagem. A Figura 82 representa o detalhe desse conjunto.

Figura 81 - Distribuição das barras de transferência entre as juntas de construção



Fonte: PDNews (2021).

Figura 82 - Barras de transferência dispostas em espaçador treliçado



Fonte: LPE Engenharia (2023)

A norma supracitada estabelece ainda que:

- as barras de transferência deverão ser, obrigatoriamente lisas e retas, com o diâmetro, espaçamento e comprimento definidos no projeto;
- Nas juntas de construção que não coincidem com uma junta de contração, a barra não

terá trecho pintado ou engraxado.

- O capuz que recobre a extremidade deslizante da barra de transferência das juntas de dilatação deve ser suficientemente resistente, para não amassar durante a concretagem;
- A folga entre a extremidade fechada do capuz e a ponta livre da barra, estabelecida no projeto, deverá ser garantida durante a concretagem.
- No alinhamento destas barras são admitidas as tolerâncias seguintes:
 - a) o desvio máximo das extremidades de uma barra, em relação à posição prevista no projeto, será de $\pm 1\%$ do comprimento da barra;
 - b) em pelo menos dois terços das barras de uma junta, o desvio máximo será de $\pm 0,7\%$.

De acordo com Pitta (1998), a prática mais recomendada para a locação das seções onde serão executadas as juntas é por medidas topográficas, devendo ser determinadas as posições futuras por pontos fixos estabelecidos nas duas margens da pista (Figura 84). Também é usual marcar essas posições sobre as fôrmas estacionárias (nos equipamentos reduzidos e sobre fôrmas-trilhos) ou por medições sucessivas (nas fôrmas deslizantes).

Figura 83 - Marcação do local da futura junta serrada, por pontos fixados



Fonte: Pitta (1998).

O autor ainda ressalta que esse procedimento de locação requer bastante cuidado, principalmente quando houver barras de transferência nas juntas transversais, uma vez que uma locação errada pode prejudicar o funcionamento do dispositivo de transmissão de carga, da própria junta e, conseqüentemente, do pavimento como um todo.

Campos (2019) afirma que “o mau posicionamento das barras de transferência invariavelmente resulta em defeitos no pavimento com custos elevados para sua correção”, conforme representado na Figura 85.

Figura 84 - Defeitos no pavimento causados pelo mal posicionamento das barras de transferência



Fonte: Campos (2019, p. 40).

Ainda segundo o autor, “as barras de transferência têm a função de transferir cargas verticais de uma placa para outra contígua, evitando-se com isso a aplicação brusca dos esforços verticais aplicados pelas rodas dos veículos e a ocorrência de degraus entre estas placas”.

Rodrigues (2008) destaca que “uma junta é considerada 100% efetiva se os deslocamentos verticais são iguais de ambos os lados da junta, ou 0% efetiva se o lado descarregado não apresentar deslocamentos para qualquer intensidade de força”, conforme pode ser observado nas Figura 86 e 87, que representam duas situações distintas : uma junta com barras de transferência de cargas e outra sem a utilização das mesmas.

Figura 85 - Representação de juntas transversais sem barras de transferência de cargas



Fonte: LPE Engenharia (2024).

Figura 86 - Representação de juntas transversais com barras de transferência de cargas



Fonte: LPE Engenharia (2024).

a) Juntas de emergência

O DNIT (2004) também estabelece que no caso de impossibilidade do prosseguimento da concretagem até uma junta transversal projetada deverá ser executada, obrigatoriamente, uma **junta transversal de construção de emergência**, de tipo previsto no projeto.

De acordo com Pitta (1998), a junta é de emergência quando, por algum motivo imprevisto, – por exemplo: quebra de equipamentos, acidentes pessoais, chuvas, etc – a equipe é obrigada a paralisar a concretagem em local que não coincide com uma junta de retração. Sendo assim, a junta fica localizada no interior da placa e com dimensão menor que a de projeto.

5.2.6 Armadura e telas

Finalizada a distribuição das barras de ligação e transferência no decorrer do percurso a ser concretado, passa-se para a etapa da disposição da tela, que segundo o DNIT (2004) deverão ser colocadas nas placas de dimensões irregulares e acima dos padrões normalmente adotados nas placas (Figura 88).

Figura 87 - Tela soldada colocada sobre as barras de transferência ao

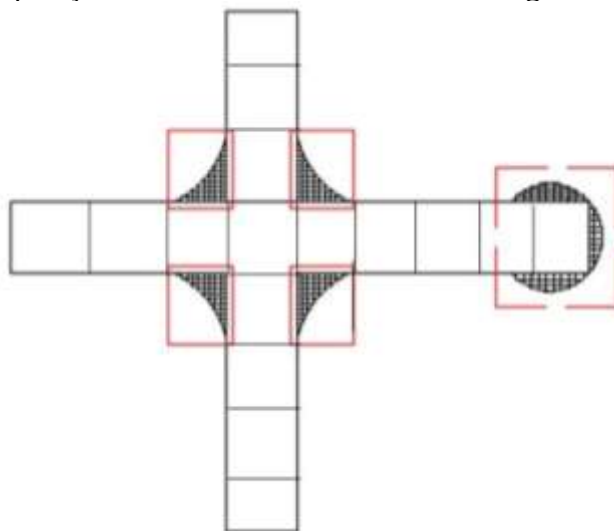


Fonte: Bastos (2020, p.5)

Esta tela deve ser colocada a 5 cm da superfície do pavimento e no máximo até meia altura da espessura da placa, devendo distar 5cm de qualquer bordo da placa.

A Figura 88 representa parte do projeto de uma via urbana que receberá um pavimento de concreto. Como é possível observar na imagem, existem locais que apresentam dimensões irregulares, pois dispõe de curvas e contornos circulares. Nesse caso, as telas são dispostas nessas áreas com o objetivo de reforçá-las, aumentando a resistência e a durabilidade do pavimento, além de minimizar o aparecimento de fissuras.

Figura 88 - Disposição das telas soldadas nas áreas irregulares das placas de concreto



Fonte: Autoria própria (2025)

5.2.7 Lançamento, espalhamento e adensamento do concreto

5.2.7.1 Lançamento

Finalizada a colocação das telas, passa-se então para a etapa de lançamento do concreto, que segundo Pitta (1998), independentemente do tipo de equipamento de pavimentação que se empregue, a maneira recomendada de lançar o concreto é por descarga lateral (Figuras 89 e 90), seja quando se constrói faixa-por-faixa, seja nos casos de concretagem de toda a largura da pista. Admite-se o retrolançamento — ou seja, postado o veículo de ré e à frente do equipamento (Figura 91) — somente quando esse tráfego não prejudicar a qualidade da superfície preparada para receber o concreto.

Figura 89 - Lançamento do concreto lateralmente à faixa



Fonte: Bastos (2020, p.5)

Nesse caso, o concreto foi lançado lateralmente por um caminhão betoneira, sobre uma base já isolada e impermeabilizada por uma lona plástica, sem a existência da tela. Conforme pontuado anteriormente, a tela se faz necessária nas áreas de placas irregulares (curvas, circulares) para reforçá-las. A utilização ou não desse reforço nas áreas regulares do pavimento, depende das especificações de cada projeto.

Figura 90 - Lançamento do concreto sobre base prepara com tela soldada.



Fonte: AECweb (2022)

Aqui, ao contrário da situação anterior, observa-se a disposição da tela soldada colocada sobre todo o percurso a concretar, sem a lona plástica.

Figura 91- Lançamento de concreto com o veículo de ré



Fonte: Freepik(2025)

Júnior e Pinheiro (2024) reforçam ainda que nos casos de difícil acesso à área de concretagem, ou de manobra do caminhão, faz-se necessário a utilização da bomba de concreto, que deve ser instalada no ponto de recebimento do concreto por betoneiras (Figura 92). Essa bomba pode atingir boas distâncias horizontais e verticais, permitindo até 500 e 200 metros, respectivamente.

Figura 92 - Bomba de concreto estacionária



Fonte: LIEBHERR: Tecnologia do concreto (2025).

A Figura 93 mostra no detalhe a tubulação que é acoplada à bomba estacionária responsável pelo lançamento do concreto sobre a superfície preparada pra a concretagem.

Figura 93 - Lançamento de concreto com bomba estacionária



APL Engenharia (2018).

As Figuras 94 e 95 representam o aspecto que o Concreto Reforçado com Fibras deve ter no momento do lançamento na sub-base.

Figura 94 - Aspecto do concreto reforçado com fibras no momento de seu lançamento



Fonte: CONCRETO & Construções (2021)

Figura 95 - Detalhe do Concreto Reforçado com Fibras ao ser lançado na sub-base



Fonte: CONCRETO & Construções (2021)

5.2.7.2 Espalhamento

À medida que o concreto vai sendo lançado sobre a base, deve-se imediatamente executar o espalhamento, seja com o auxílio de ferramentas manuais (pás, enxadadas, desempenadeiras), conforme representado na Figura 96; ou executado mecanicamente, nos casos em que se utiliza o equipamento sobre fôrmas-trilho, de modo a garantir uma distribuição homogênea e atender a espessura da placa, evitando-se sempre a segregação do material.

Figura 96 - Espalhamento do concreto utilizando enxadadas, compactação



Fonte: Pavimento de Concreto (2025).

Quando for utilizado equipamento de formas deslizantes, não há necessidade de uso de ferramentas ou máquinas adicionais, pois ele tem o dispositivo de espalhamento na sua frente, podendo ser uma pá mecânica ou uma rosca sem-fim (Figura 97).

Figura 97 - Espalhamento de concreto pelo equipamento de fôrmas deslizantes



Fonte: ZJAR (2025).

Independente do processo de espalhamento, o concreto deve resultar em uma camada solta, contínua e homogênea, de altura constante, e que após as operações de adensamento e acabamento, a espessura seja a prevista no projeto, dentro das tolerâncias admitidas (PITTA, 1998).

5.2.7.3 Adensamento

Finalizado o espalhamento, inicia-se a etapa de adensamento do concreto, que poderá ser executado pelos vibradores de imersão (Figura 98) e pela régua vibratória (Figura 99). Os vibradores devem ser aplicados nos cantos das fôrmas de modo a corrigir deficiências no adensamento do concreto quando da vibração superficial pela régua vibratória (DNIT, 2004).

Figura 98 - Adensamento do concreto com vibrador de imersão



Foto: For Construction Pros.com (2024).

Figura 99 - Adensamento do concreto com régua vibratória



Fonte: Royal Máquinas e Ferramentas (2019)

Outro equipamento de pequeno porte que também poderá ser utilizado para adensar o concreto é a treliça vibratória (Figura 100), que através de vibrações, ajuda a eliminar bolhas de ar e a densificar o concreto, tornando-o mais resistente e impermeável. A treliça vibratória desempenha também, a função de nivelamento do pavimento.

Figura 100 - Adensamento e nivelamento do concreto com treliça vibratória



Fonte: Alibaba (2025)

De acordo com Pitta (1998), “não se deve permitir nessa fase o trânsito de operários sobre o concreto, seja antes ou depois do adensamento, pela possibilidade de serem introduzidos detritos e elementos estranhos no material e ser prejudicada a própria operação do equipamento”.

Nesse sentido, segundo ele, deve-se utilizar as pontes de serviço (Figura 101), conforme dimensões representadas no esquema da Figura 102, permitindo assim a movimentação do

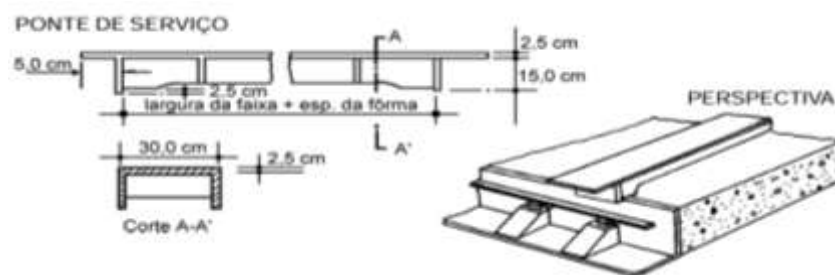
peçoal sobre a pista em construção. O autor ainda pontua que no caso do equipamento sobre fôrmas-trilhos e de fôrmas deslizantes, esse acessório já está atrelado ao equipamento.

Figura 101 - Ponte de serviço sobre pavimento de concreto em acabamento



Fonte: Júnior e Pinheiro (2023, p.3)

Figura 102 – Esquema de pontes de serviço



Fonte: Pitta (2016, p.52)

Pitta (2016) elenca ainda algumas exigências quanto à etapa do adensamento:

- Qualquer depressão observada após o adensamento deverá ser imediatamente corrigida com concreto fresco, jamais se permitindo o uso de argamassa para esse fim;
- Independentemente do tipo de equipamento, deve-se operá-lo de forma contínua, com o menor número possível de paradas. Para isso, deve haver uma completa coordenação entre o adensamento e a produção, o transporte, o lançamento e o espalhamento do concreto, de modo que o progresso da pavimentação tenha boa uniformidade e constância;
- Tratando-se dos equipamentos mecanizados, é preciso que se detenha a ação dos vibradores de imersão sempre que seja necessário paralisar o trabalho da vibro-acabadora.

De acordo com o DNIT (2004), quando for adotado o processo de abertura de junta por moldagem (ou inserção), a introdução do perfil deve ser feita por vibração, com o concreto ainda

fresco (Figura 103a) e após o acabamento, sendo corrigidas todas as irregularidades provenientes desta operação (Figura 103b).

Figura 103 - Execução e acabamento da junta moldada com perfil



Fonte: Reformas Edu (2024)

5.2.7.4 Nivelamento

O nivelamento da superfície do concreto deverá ser realizado enquanto o concreto recém-adensado encontrar-se ainda plástico. Para isso, deve-se utilizar uma régua de 3 m de comprimento, disposta paralelamente ao eixo longitudinal do pavimento e avançando de cada vez em movimentos de vaivém de, no máximo, metade de seu comprimento (PITTA, 2016).

Júnior e Pinheiro (2024) complementam que a regularização da superfície se inicia pela etapa do reguamento, com a utilização de equipamento que também faz a vibração superficial, nesse caso a régua vibratória.

Dependendo do porte da obra, essa etapa também poderá ser executada com as pavimentadoras de rolo vibratório e régua treliçada, conforme representado na Figura 106.

Figura 104 - Regularização da superfície longitudinal com régua vibratória



Fonte: IBRACOM (2010).

Após a etapa do reguamento se faz a conferência com o nível laser e/ou com régua de 3 metros (Figura 105).

Figura 105 - Conferência da regularidade longitudinal com régua de 3 m



Fonte: Maschio (2020).

Na etapa de nivelamento, é feito também o controle de espessura da placa, em pontos estratégicos ao longo de todo o percurso, medindo-se com trena ou paquímetro, conforme Figuras 106 e 107.

Figura 106 - Medida da placa de concreto em um ponto no centro da placa



Fonte: Campos (2019, p.35)

Figura 107 - Medida da placa de concreto na lateral, junto à fôrma



Fonte: Campos (2019, p.35)

5.2.7.5 Acabamento do concreto

Após o nivelamento, verificada qualquer variação na superfície, superior a 5 mm, seja uma depressão ou uma saliência, deverá ser corrigida imediatamente, sendo as saliências cortadas por um rodo de corte (Figura 108) ou equipamento similar e as depressões preenchidas com concreto fresco. A aplicação do rodo de corte regulariza a superfície final do pavimento, retirando os “bumps” (MASHIO, 2020).

Figura 108 - Correção das saliências com rodo de corte



Fonte: Campos (2019)

Após a execução dos cortes das saliências, faz-se necessário a correção da porosidade superficial do concreto. Para isso, utiliza-se uma desempenadeira metálica de cabo longo, conhecida como *float* (Figura 109), na direção transversal à pista.

Figura 109 - Aplicação do float para corrigir a porosidade do concreto



Fonte: One Stop Hire (2025)

Pitta (1998) destaca que “o acerto das bordas longitudinais é feito no concreto fresco por corte, aplicando-se para isso desempenadeiras de borda curva que arredondam as laterais da faixa concretada e retiram o excesso de material”, conforme representado na Figura 110.

Figura 110 - Aplicação da desempenadeira metálica de borda e cabo curto para



Fonte: Alcântara(2014, p.15)

Além desse tipo de desempenadeira manual para esse acabamento em locais específicos, Maschio (2020), cita também as desempenadeiras metálicas de cano curto (Figura 111).

Figura 111 - Acabamento na superfície próxima às fôrmas com desempenadeira de cabo curto



Fonte: Maschio (2020)

Em casos, onde a solicitação de acabamento é um vassourado “mais fino” ou uma superfície mais lisa, deve-se utilizar a acabadora mecânica, deixando a superfície rugosa (aspecto camurça) ou lisa para o imediato vassouramento (JÚNIOR e PINHEIRO, 2024).

5.2.8 Texturização

Finalizado o acabamento inicial, procede-se então com o acabamento final da superfície, uma vez que, segundo Pitta (1998), “a superfície do pavimento deve ser plana e desempenada; entretanto, não pode ser lisa, o que a faria opor baixa resistência à derrapagem, tanto quando seca como quando úmida”.

Ainda segundo o autor, a terminação superficial — última fase das operações de concretagem propriamente ditas — é responsável por dar ao pavimento uma certa rugosidade superficial, aumentando assim, o atrito entre ele e os pneus dos veículos. Esse tipo de acabamento serve também como uma espécie de microdrenagem, evitando a formação de lâminas d’água capazes de produzir a perda total de aderência entre o veículo e a superfície de rolamento (hidroplanagem).

Há diferentes processos que permitem criar essa superfície antiderrapante. Todos eles produzem, de uma forma ou de outra, estrias retilíneas ou sinuosas no concreto, de profundidade e largura como se queira, com resultados diferentes no estabelecimento da desejada aderência e segurança.

A norma DNIR 047/2004 destaca que esse acabamento final poderá ser feito com tiras de lona ou com vassouras de fios de nylon, que provocarão ranhuras na superfície da placa.

Quando for utilizada a tira de lona para execução manual de texturização, esta deve ser aplicada transversalmente num deslocamento de vaivém (Figura 112).

Figura 112 - Texturização manual com tiras de lona



Fonte: ICPA (2014, p. 27).

Esse procedimento também poderá ser executado pela máquina pavimentadora, quando da utilização de equipamentos de formas deslizantes (Figura 113).

Figura 113 - Aplicação da faixa de lona no sentido longitudinal do pavimento



Fonte: ICPA (2014, p. 27).

No caso em que se utilizam a vassoura de fios de nylon, esta deve ser passada na direção transversal à faixa concretada . Em pista com largura maior que 4 metros utilizar a plataforma de apoio para promover o acabamento, conforme representado na Figura 114

Figura 114 - Texturização com vassoura de fio de nylon sobre plataforma de apoio



Fonte: Maschio (2020)

As ranhuras devem ser contínuas e uniformes ao longo da largura da placa, conforme representado na Figura 115.

Figura 115 - Detalhe da texturização com vassoura de fios de nylon



Fonte: Maschio (2020)

Outra forma de fazer o acabamento do pavimento é com o pente metálico (Figura 116). O pente metálico, assim como a vassoura de fio de nylon, deve ser passado na direção transversal à faixa concretada, de forma homogênea e constante, a fim de obter ranhuras contínuas, uniformes e alinhadas ao longo do pavimento como um todo.

Figura 116 - Acabamento do pavimento com pente metálico



Fonte: Beton Trowel (2025).

Nos casos em que as juntas transversais sejam formadas pela inserção de perfil metálico no concreto fresco, este é o momento de retirá-lo e, com a desempenadeira curva, arredondar as bordas da junta recém-moldada (PITTA, 1998).

Júnior e Pinheiro (2024) reforça que o processo de texturização deve estar em acordo com o projeto e de aceite prévio do cliente e, faz algumas recomendações em relação ao equipamento utilizado para executar a texturização do pavimento, considerando fatores como tipo de tráfego, topografia e velocidade:

- a) Para regiões de baixa velocidade, vias locais e coletoras, admitisse como acabamento, nível de rugosidade simples como alisamento camurçado, grosso ou superior, não sendo admitido acabamento lapidado ou polido;
- b) Para regiões com declive é recomendado o acabamento vassourado ou superior. Nestes casos é importante reforçar o adensamento do concreto para diminuir o afloramento das macrofibras estruturais.
- c) Para regiões com velocidade acima de 40 km/h deve se utilizar acabamento com textura vassourada ou utilização de pentes metálicos que provocam ranhuras na superfície das placas.

Em todos os casos de acabamento texturizado, as ranhuras devem ser leves para não comprometer o acabamento do pavimento e evitar geração acentuada de ruídos. A profundidade das ranhuras deve ficar entre 0,6 e 1,2 mm.

Ainda segundo os autores, “é proibida a aspersão de água durante o acabamento (Figura 117), sob pena de redução considerável da resistência à abrasão”.

Figura 117 - Prática proibida durante o acabamento do concreto



Fonte: Adaptada de Maschio (2020).

5.2.9 Cura

De acordo com o DNIT (2004), finalizado o acabamento do concreto, inicia-se imediatamente o período total de cura que deverá ser de 7 dias, compreendendo um período inicial de aproximadamente 24 horas, seguido de um período final, até o concreto atingir a idade de 7 dias.

Dentre as funções da cura do concreto, Maschio (2020) destaca as seguintes:

- Impedir a evaporação de água de amassamento;
- Manter a temperatura do concreto próxima à ambiente;
- Permitir que as reações químicas do cimento ocorram normalmente.

Existem dois principais processos de cura de concreto, são eles: a **cura química** e a **cura úmida**. Porém, nos PUC's adota-se a cura química, na qual deve-se aplicar em toda a superfície do pavimento um composto químico líquido, de preferência na cor branca, que forma uma película plástica, à razão de 0,35 l/m² a 0,50 l/m² (DNIT, 2004). Esse composto poderá ser aplicado com um pulverizador costal (Figura 120), nas obras de pequeno porte ou pela própria máquina pavimentadora, nos demais casos (Figura 121).

Figura 118 - Aplicação do composto químico manualmente



Fonte: IBRACON (2010)

Figura 119 - Aplicação do composto químico com a própria máquina pavimentadora.



Fonte: Campos (2019)

De acordo com Maschio (2020), esse produto de cura química, se bem aplicado e, dependendo da base do seu componente, obviamente, vai gerar algo parecido com uma película (Figura 120) em cima do pavimento, que se tiver na taxa correta, na aplicação correta, é possível até puxar. Fica como se fosse um filme por cima, que obviamente com o tempo vai se soltar.

Figura 120 - Detalhe do produto de cura química bem aplicado



Fonte: Maschio (2020).

O autor ainda destaca que na condição muito exacerbada de clima, muito vento, por exemplo, ou execução de concreto 11 horas da manhã, meio dia, por exemplo, muito sol, nesse ponto eventualmente é importante, além da cura química, haver a necessidade de um adicional de cura úmida (Figura 121) para resguardar esse processo. Porém, isso só será necessário, eventualmente, sem contar que esse tipo de cura, danifica a textura executada anteriormente.

Figura 121 - Execução de cura úmida com manta geotêxtil



Fonte: Maschio (2020).

Quando a cura se fizer por meio de tecidos (manta geotêxtil), conforme apresentado acima, com papel betumado ou lençol plástico, deve-se sobrepor as tiras em pelo menos 10 cm. A utilização de manta geotêxtil retém a água nos vazios capilares, impedindo a evaporação.

No caso de ocorrer a necessidade da retirada desses materiais de algum local, a sua reposição deverá ser feita dentro de 30 minutos, no máximo.

Segundo o DNIT (2004), após o período inicial de cura, a superfície do pavimento deverá ser coberta com qualquer dos seguintes produtos: água, tecido de juta, cânhamo ou algodão, lençol plástico, lençol de papel betumado ou alcatroado e compostos químicos líquidos capazes de formar películas plásticas. Poderá também fazer combinações com combinações apropriadas de alguns desses materiais ou outro tipo adequado de proteção, que evite a exposição do concreto às intempéries e à perda brusca de umidade. A Figura 122 representa a combinação de compostos químicos líquidos e lençol plástico branco.

Figura 122 - Aplicação de composto químico e cobertura com lona plástica



Pedreira (2025)

5.2.10 Desmoldagem

De acordo com o DNIT (2004), após decorrerem pelo menos 12 horas da cocretagem, as fôrmas poderão ser retiradas, embora possam ser fixados prazos diferentes, para mais ou para menos, desde que o concreto possa suportar sem nenhum dano a operação de desmoldagem e atendendo-se, ainda, a um máximo de 24 horas.

Ainda de acordo com a norma, durante a desmoldagem deverão ser tomados os cuidados necessários para evitar o esborcinamento dos cantos das placas. Para isso, recomenda-se que as faces laterais das placas, ao serem expostas pela remoção das fôrmas, sejam imediatamente protegidas por processo que lhes proporcione condições de cura análogas às da superfície do pavimento, conforme representado na Figura 123.

Figura 123 - Processo de proteção das faces laterais das placas de concreto com cura química



Fonte: Maschio (2019, p.62).

5.2.11 Proteção da pista com concreto fresco

No período inicial de cura não será admitido sobre o pavimento qualquer espécie de trânsito, devendo essas áreas serem isoladas ou cobertas, conforme representação nas Figuras 124 e 125.

Figura 124 - Trânsito impedido sinalizado com cones



Fonte: Maschio (2019, p. 68)

Figura 125 - Pista interditada cercada com telas



Fonte: Maschio (2019, p. 69).

5.2.12 Corte das juntas

A norma DNIT 047/2004 – ES estabelece que “todas as juntas devem estar em conformidade com as posições indicadas no projeto, não se permitindo desvios de alinhamento superiores a 5mm”.

5.2.12.1 Juntas longitudinais

Segundo a referida norma, quanto às juntas longitudinais, o pavimento deverá ser executado em faixas longitudinais parciais, devendo a posição das juntas longitudinais de construção coincidir com a das longitudinais de projeto. Nesse sentido, como neste passo a passo foi utilizada a execução de faixas parciais, portanto, as juntas foram executadas com auxílio de fôrmas de contenção lateral, que limitam as faixas/etapas de concretagem, não havendo necessidade de corte, apenas de tratamento.

Nos casos da junta longitudinal de seção enfraquecida, existem dois processos: moldagem no concreto fresco e serrada (Figura 126) no concreto semi-endurecido, ambos já descritos anteriormente.

Figura 126 - Corte de juntas longitudinais



Fonte: Freepik (2025)

No caso das juntas longitudinais serradas, Pitta (1998) destaca que a profundidade do corte deve estar entre $\frac{1}{4}$ e $\frac{1}{3}$ da espessura de concreto e que o período entre o fim da concretagem e o corte da junta, nesses casos, pode ser maior. Isso se deve ao fato de que o estabelecimento das condições críticas que propiciam a formação da fissura longitudinal é bem mais lento do que no caso da fissuração devido à retração hidráulica, por exemplo.

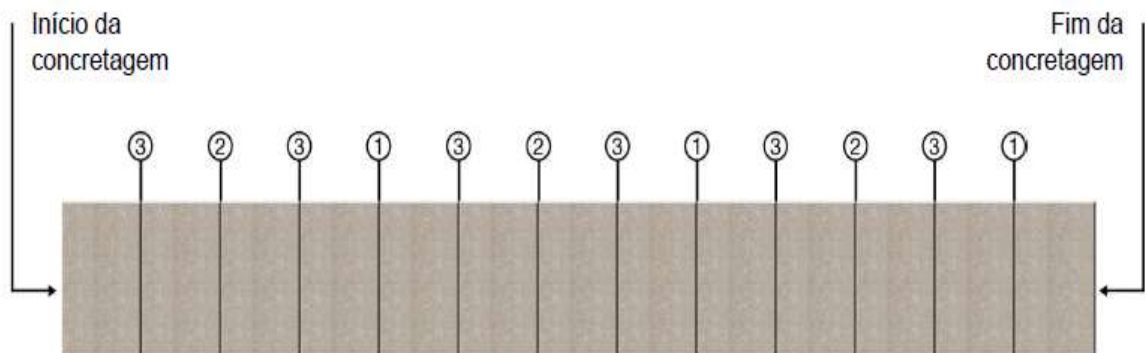
5.2.12.2 Juntas longitudinais

Em se tratando das juntas transversais, estas devem ser retilíneas em toda a sua extensão, perpendiculares ao eixo longitudinal do pavimento, salvo em situações particulares indicadas no projeto. Devem ser executadas de modo que as operações de acabamento final da superfície possam processar-se continuamente, como se as juntas não existissem (DNIT, 2004).

Maschio (2019) cita algumas recomendações importantes referente ao corte das dessas juntas:

- Deve-se estabelecer um Plano de Corte no qual se determine o momento adequado e a ordem de abertura das juntas transversais. Nesse sentido, os cortes transversais deverão ser executados numa sequência tal que diminua progressivamente o comprimento concretado, conforme representação na Figura 127.

Figura 127 - Plano de Corte das juntas transversais



Fonte: Maschio (2019)

- O corte será executado com 2 ou 3 mm de largura com o concreto semi - endurecido, no sentido transversal à pista (Figura 128), com profundidade especificada em projeto (normalmente $\frac{1}{3}$ da espessura da placa);

Figura 128 - Corte de junta no sentido transversal à pista



Fonte: Júnior e Pinheiro (2023, p.18)

- A execução das juntas será feita com serra de disco diamantado (Figura 129), cuja quantidade disponível deverá ser suficiente para atender o plano de corte;

Figura 129 - Corte de junta com serra de disco diamantado



Fonte: Campos (2019, p. 56).

- Deve-se atentar-se ao correto posicionamento da junta;
- A mão de obra deve ser qualificada e treinada;
- Definir o momento correto para iniciar o corte.

Com relação à essa última recomendação, ele pontua que o momento correto para iniciar o primeiro corte (nas juntas transversais) ocorre em função da resistência do concreto nas primeiras idades e das condições climáticas no dia. Nesse sentido, faz-se necessário que seja levado em conta se o concreto suporta o peso do equipamento e do operador ou se a resistência permite que o corte fique justo, sem rebarbas ou quebras, por exemplo.

Maschio (2019) ainda pontua que caso exista “a possibilidade de corte das juntas no período noturno, é importante ter à disposição equipamento de apoio para iluminação” (Figura 130).

Figura 130 - Equipamento de apoio para iluminação



Fonte: Torre de Iluminação (2023).

Ainda sobre as juntas transversais, Júnior e Pinheiro também relacionam algumas recomendações necessárias nessa etapa:

- Deve-se proceder com o corte das juntas do tipo serrada no intervalo de 4h a 8h após o lançamento do concreto, para evitar a fissuração das placas;
- Entre a placa de concreto e o meio fio poderá ser inserido EPS (isopor) de espessura de mínimo 3mm, para que não haja aderência entre o pavimento e o meio fio, assim não formando um único elemento e possibilitando a pequena movimentação de ambos;
- Caso o meio fio seja moldado in loco recomenda-se que suas juntas coincidam com as juntas transversais do pavimento, evitando-se assim fissuras induzidas nesse elemento.
- As juntas de construção podem receber a passagem da serra (no máximo 2,5 cm) de modo a melhorar o aspecto visual e formar o reservatório para o selante.
- Deve-se aguardar até que as placas estejam visivelmente separadas.

5.2.13 Selagem das juntas

Finalizado o corte das juntas, deve-se, imediatamente, proceder com a etapa de selagem das mesmas, que segundo Campos (2019) tem a função de “impedir a penetração de água (chuvas) que favorecem um eventual bombeamento de finos, e impedir a entrada de materiais incompressíveis nos cortes que com a movimentação entre as placas podem provocar esborcinamento das juntas”.

De acordo com o DNIT (2004), o material de selagem só poderá ser aplicado quando os sulcos das juntas estiverem limpos e secos, empregando-se para tanto ferramentas com ponta em

cinzel, que penetrem na ranhura das juntas sem danificá-las (Figura 131), vassouras de fios duros e jato de ar comprimido.

Figura 131 - Limpeza de junta com ferramenta de ponta de cinzel



Fonte: Penetron Brasil (2022).

Depois da limpeza, faz necessário colocar o corpo de apoio no fundo do reservatório do selante com auxílio de ferramenta com ponta em roldana (tipo cortador de pizza) ou com gabarito metálico apropriado (ABCP, 2019), conforme Figura 132.

Figura 132 - Colocação de corpo de apoio no fundo do reservatório do selante



Fonte: ABCP(2019)

Em seguida, o material selante deve ser cuidadosamente colocado no interior dos sulcos, sem respingar na superfície, e em quantidade suficiente para encher a junta sem transbordamento.

No caso de selante a frio, deverá ser aplicado com bisnaga própria do fabricante (Figura 133), caso fornecida, ou com apetrecho similar para tal finalidade, cuidando para que não o extravase da junta e suje suas laterais, o que obrigará uma limpeza a mais, removendo-se todo o material nela derramado (ABCP, 2019).

Figura 133 - Aplicação de selante a frio com bisnaga do fabricante



Fonte: Sika Brasil (2024).

Para se evitar que o selante não extravase da junta e suje suas laterais, a ABCP (2019) recomenda a utilização de fita crepe de ambos os lados da junta (Figura 134), deixando apenas o entalhe do reservatório à mostra.

Figura 134 - Utilização de fita crepe de ambos os lados da junta



Fonte: Jointec (2025)

Em seguida, executar a selagem, raspar o selante com uma espátula e retirar o crepe no qual está o selante em excesso, resultando uma junta perfeitamente selada e limpa (Figura 135).

Figura 135 - Retirada do excesso de selante com espátula



Fonte: Mix Pisos (2025).

Nos casos em que se optar por selantes pré-moldados (Figura 136), recomenda-se a contratação de empresa especializada, que detenha a tecnologia de aplicação desse tipo de material. Esses selantes são fabricados com diferentes tipos de materiais (borracha, PVC, metal e plástico) e diversos formatos, cores e resistência a diferentes cargas. A instalação desses perfis é feita com a fixação de parafusos.

Figura 136 - Selante pré-moldado em PVC



Fonte: Shekel Engenharia e Pisos Industriais (2025)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho proporcionou diversos conhecimentos, ora desconhecidos, relacionados aos Pavimentos Urbanos de Concreto – PUC's, através de uma análise detalhada de diversos aspectos quando comparados aos pavimentos flexíveis. Dentre as particularidades desses dois tipos de pavimentos estudados estão: a composição das suas camadas, a durabilidade, vida útil, bem como suas vantagens e desvantagens e os benefícios ambientais que os PUC's proporcionam.

Dentre esses benefícios estão a redução dos impactos ambientais, uma vez que possui a vida útil maior que o flexível, implicando menor geração de resíduos, sendo estes ainda completamente recicláveis. O fato de ter vida útil mais prolongada, diminui o número de intervenções para manutenções e, conseqüentemente, os congestionamentos, resultando em menor consumo de combustíveis e grande redução de emissões de gases produzidos pelos veículos, entre eles o CO₂.

Outro ponto positivo no que tange à sustentabilidade é a redução do efeito de “ilha de calor” na cidade, trazendo diversos benefícios, como a redução da temperatura, tanto do ambiente quanto da superfície das ruas, proporcionando melhor bem estar para a população.

Outro benefício significativo está relacionado ao uso de pavimento com concreto reforçado com fibras, que têm um impacto ambiental positivo, especialmente quando se considera a redução da quantidade de cimento necessária na mistura. A utilização de materiais reciclados nas fibras também é um fator importante que contribui para a sustentabilidade.

Quanto à normatização, embora não exista ainda uma norma específica para os PUC's, foi possível analisar diversas normas ABNT e especificações do DNIT que se adaptam a esse tipo de pavimento. Dentre elas a norma DNIT 047/2004 – ES - Pavimento rígido – Execução de pavimento rígido com equipamento de pequeno porte - Especificação de serviço, que embasou esse trabalho e a prática recomendada da ABNT PR 1011 - Projeto de pavimentos urbanos em concreto, que apresenta recomendações para projeto de pavimentos urbanos de concreto. A ABCP também serviu de base para o desenvolvimento do passo a passo das etapas construtivas dos PUC's.

A abordagem sobre os diversos tipos de pavimentos de concreto também, cada um com suas especificidades também foi um ponto muito relevante deste trabalho.

Ao descrever o passo a passo foi possível perceber a diversidade de equipamentos disponíveis no mercado da construção civil e entender a função de cada um deles. O estudo de cada etapa adicionou bastante conhecimento e, conseqüentemente, o entendimento das causas de diversas manifestações patológicas nos pavimentos, até então desconhecidas. Durante esse descrição, foi possível perceber também que existem poucas publicações referentes PUC'S, que tratam sobre o processo construtivo, principalmente quanto à adição das macrofibras, que são o ponto chave desses pavimentos, pois assumem a função das armaduras, do concreto convencional.

Portanto, neste trabalho estão reunidos de forma prática e bem detalhada cada etapa da execução dos PUC's, cumprindo assim o objetivo deste estudo. Ressalta-se que, o

dimensionamento, bem como os custos com a execução dos PUC's não eram objetivos deste estudo.

Portanto, sugere-se para trabalhos futuros relacionados ao tema: estudos de caso voltados para o dimensionamento de vias com PUC's, análise dos custos para implantação dos PUC's, estudo detalhado da adição de macrofibras nos pavimentos de concreto, modelagens e simulação de vida útil dos PUC's quando submetidos a diferentes carregamentos, dentre outros.

REFERÊNCIAS

A HISTÓRIA do Brasil passa por aqui. **Caminhos do Mar**, 2024. Disponível em: <https://caminhosdomar.com.br/historia/>. Acesso: 26 jan. 2025.

Araújo, J. C. **Soluções práticas para pavimentos de concreto**. IBRACON, 2012. Disponível em: https://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/verconstrucao/pdf/Revista%20Concreto%2058.pdf. Acesso: 27 jan. 2025.

As fibras de aço para o concreto. **Revista Digital Ad Normas**, 2019. Disponível em: <https://revistaadnormas.com.br/2019/12/29/as-fibras-de-aco-para-o-concreto>. Acesso: 29 jan. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM. **Informações – Pavimento Urbano de Concreto PUC. São Paulo, 2024**. Disponível em: <https://abesc.org.br/informacoes-pavimento-urbano/>. Acesso: 29 jan. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND: ABCP. **Quem somos?** São Paulo, 2024. Disponível em: <https://abcp.org.br/quem-somos/>. Acesso: 15 dez. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND: ABCP. **Prática Recomendada PR – 4. Pavimento de Concreto. Abertura e Selagem de Juntas**. Disponível em: https://viasconcretas.org.br/wp-content/uploads/2019/08/pr4_pav_concreto.pdf. Acesso: 28 mai. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5732: Cimento Portland comum**. Rio de Janeiro, 1991. Disponível em: <https://engenhariacivilfsp.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/04/nbr-05735-1991-cimento-portland-de-alto-forno-eb-208.pdf>. Acesso: 25 jan. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733: Cimento Portland de alta resistência inicial**. Rio de Janeiro, 1991. Disponível em: <https://engenhariacivilfsp.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/04/nbr-05735-1991-cimento-portland-de-alto-forno-eb-208.pdf>. Acesso: 25 jan. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5735: Cimento Portland de Alto – Forno**. Rio de Janeiro, 1991. Disponível em: <https://engenhariacivilfsp.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/04/nbr-05735-1991-cimento-portland-de-alto-forno-eb-208.pdf>. Acesso: 25 jan. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5736: Cimento Portland pozolânico**. Rio de Janeiro, 1991. Disponível em: <https://engenhariacivilfsp.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/04/nbr-05735-1991-cimento-portland-de-alto-forno-eb-208.pdf>. Acesso: 25 jan. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7207: Terminologia e classificação de pavimentação**. Rio de Janeiro, 1982. Disponível em: <https://engenhariacivilfsp.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/04/nbr-05735-1991-cimento-portland-de-alto-forno-eb-208.pdf>. Acesso: 25 jan. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7583: Execução de pavimentos de concreto simples por meio mecânico**. Rio de Janeiro, 1986. Disponível em: <https://www.docsity.com/pt/docs/nbr-7583-1986-execucao-de-pavimentos-de-concreto-simples-por-meio-mecanico/4942563/>. Acesso: 25 jan. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação Especificação e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://salvadorpremoldados.com.br/wp-content/uploads/2016/04/NORMA-ABNT-NBR-9781-PISOS.pdf>. Acesso: 10 jan. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17831/material/NBR%2012655%20-%202015.pdf>. Acesso: 20 jan. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NRB 12655/2015 - Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento**. Disponível em: <https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17831/material/NBR%2012655%20-%202015.pdf>. Acesso: 20 jan. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT PR 1011: 2021 – Projetos de Pavimento Urbano em Concreto**. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/660056725/PR-1011>. Acesso: 27 jan. 2025.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica: Materiais, Projeto e Restauração**. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentos de Concreto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=iFzUDAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT7&dq=artigos+sobre+pavimentos+urbanos+de+concreto&ots=Dy9uIpv1XJ&sig=g1gsL6pWRRcITmw_OkD6CbGHYgk#v=onepage&q&f=false. Acesso: 18 dez. 2024.

BALESTRINI, Alex; DALLAGNOL, Ana Lidia e SARTORI, Jeniffer L. **Pisos de Concreto Armado**. Disponível em: <https://trabalhoc2-grupo13.blogspot.com/2012/04/2-tipos-de-pisos.html>. Acesso: 27 jan. 2025.

BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros**. 3. ed. Rio de Janeiro: ADEBA, 2010. 504 p. Disponível em: <http://www.abeda.org.br/livro-pavimentacao/>. Acesso em: 15 dez. 2024.

BIANCHI, Flavia R; BRITO, Isis R.T; CASTRO, Veronica A.B. **Estudo Comparativo entre Pavimento Rígido e Flexível**. Associação de Ensino Superior Unificado do Centro Leste. Vitória, 2008. Disponível em: https://www.ibracon.org.br/eventos/50cbc/pav_apresen_tacoes/isis_raquel.pdf. Acesso: 26 dez. 2024.

CAMPOS, Rodrigo S. Executando Caminhos em Pavimento de Concreto. Seminário ABCP, 2019. Disponível em: https://abcp.org.br/wp-content/uploads/2019/09/Executando_caminhos_Rodrigo_Campos_CShow20190816.pdf. Acesso: 20 à 30 mai. 2025.

CÁRNIO, Marco Antônio. Entrevista. **Revista CONCRETO & Construções**. Ed. 103, Jul - Set, 2021. Disponível em: https://ibracon.org.br/Site_revista/Concreto_Construcoes/pdfs/

edicao103/Revista%20Concreto%20IBRACON%20103%20-%20Personalidade%20entrevistada.pdf. Acesso: 29 mai. 2025.

CARVALHO, Ana. Uso do concreto na construção de rodovias: escolha estratégica para suportar o tráfego pesado e as intempéries. **Massa Cinzenta**, 2024. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/uso-do-concreto-na-construcao-de-rodovias-escolha-estrategica-para-suportar-o-trafego-pesado-e-as-intemperies/>. Acesso: 29 jan. 2025.

CAVA, Felipe. Conceito de Pavimento de Concreto Simples. **Além da Inércia**, 2018. Disponível em: <https://alemdainercia.com/2018/04/25/conceitos-de-pavimento-de-concreto-simples/>. Acesso: 20 dez. 2024.

CAVA, Felipe. Como dimensionar as Barras de Transferência em Pavimentos de Concreto. **Além da Inércia**, 2019. Disponível em: <https://alemdainercia.com/2019/10/28/objetivo-das-barras-de-transferencia-em-pavimentos-de-concreto/#:~:text=As%20barras%20de%20transfer%C3%A2ncia%20s%C3%A3o,a%20outra%20placa%20de%20concreto>. Acesso: 25 jan. 2025.

CAVA, Felipe. Estas são as funções dos pavimentos! **Além da Inércia**, 2021. Disponível em: <https://alemdainercia.com/2021/04/19/estas-sao-as-funcoes-dos-pavimentos/>. Acesso: 19 dez. 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Glossário de Termos Técnicos Rodoviários**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://www.academia.edu/40892121>. Acesso: 19 dez. 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. DNIT. **Manual de Pavimentos Rígidos**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/714_manual_de_pavimentos_rigidos.pdf. Acesso: 15 dez. 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Norma DNIT 181/2018 – ME: Pavimentação – Material Estabilizado Quimicamente – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/metodo-de-ensaio-me/dnit_181_2018_me-1.pdf. Acesso em: 26 dez. 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **NORMA DNIT 047/2004 – ES - Pavimento rígido – Execução de pavimento rígido com equipamento de pequeno porte - Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dnit_047_2004_es.pdf. Acesso: 26 dez. 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **NORMA DNIT 048/2004 – ES: Pavimento rígido – Execução de pavimento rígido com equipamento de fôrma-trilho – Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dnit_048_2004_es.pdf. Acesso: 10 jan. 2025.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **NORMA DNIT 049/2013 – ES: Pavimento rígido – Execução de pavimento rígido com equipamento de forma deslizante.** Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dnit_048_2004_es.pdf. Acesso: 10 jan. 2025.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **NORMA DNIT 050/2004 – EM: Pavimento rígido – Cimento Portland Especificação de material.** Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-material-em/dnit_050_2004_em.pdf. Acesso: 27 jan. 2025.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **NORMA DNIT 068/2004 – ES: Pavimento Rígido - Execução de camada superposta de concreto do tipo whitetopping por meio mecânico - Especificação de serviço.** Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dnit_068_2004_es.pdf. Acesso: 20 jan. 2025.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **NORMA DNIT 138/2010 - ES Pavimentação – Reforço do subleito - Especificação de serviço.** Disponível em: https://newroads.com.br/wp-content/uploads/2018/01/dnit138_2010_es.pdf. Acesso: 26 dez. 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INSTITUTO BRASILEIRO DE TELAS SOLDADAS (IBTS). **Pisos em concreto armado.** Disponível em: <http://ibts.org.br/pdfs/pisos.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2025.

DIAS, Raphael Fonseca. **Concreto reforçado com fibras (CRF): O que é? Pra quer serve?** IMEPAC - Centro Universitário. Araguari, 2025. Disponível em: <https://imepac.edu.br/concreto-reforcado-com-fibras-crf-o-que-e-pra-quer-serve/>. Acesso: 25 jan. 2025.

DOUGLAS, Daniel. Soluções de Resíduos para a Construção Civil: Reduzindo o Impacto dos Entulhos. Consórcio Público de Manejo de Resíduos Sólidos do Vale do Jaguaribe Unidade II – CONVALE, 2024. Disponível em: <https://convale.ce.gov.br/informa/72/solucoes-de-residuos-para-a-construcao-civil-reduz>. Acesso: 27 jan. 2025.

DUARTE, Kethelyn da S; PEIXOTO, Murilo S. **Pavimento Rígido Concreto: uma Solução Sustentável e Eficiente para Infraestruturas Viárias.** Revista ft. Engenharia Civil, Vol. 27. Edição 129/DEZ 2023. Disponível em: <https://revistaft.com.br/pavimento-rigido-concreto-uma-solucao-sustentavel-e-eficiente-para-infraestruturas-viarias/#:~:text=O%20pavimento%20r%C3%ADgido%20%C3%A9%20um,inten-so%2C%20como%20rodovias%20e%20avenidas>. Acesso: 10 dez. 2024.

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. Disponível em: https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6329/3/CM_COECI_2015_2_25.pdf. Acesso: 20 dez. 2024.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de Pesquisa**. Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS e pelo Curso de Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. Disponível em: https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1q7PIC3kXvExjNXKDvcj9N4Z_KuU3hhbe. Acesso: 27 jan. 2024.

GUEL, Karina C; LOCASTRO, João K; JORGE, Gabriel X. **Análise Técnica Comparativa entre Pavimento Rígido e Flexível**. Journal of Exact Sciences – JES. Vol.42, n.2, pp. 05-10 (Jul - Set 2024). Paraná: Master Editora, 2024. Disponível em: https://www.mastereditora.com.br/periodico/20240811_095842.pdf. Acesso: 26 dez. 2024.
<https://caminhosdomar.com.br/historia/>. Acesso: 27 jan. 2025.

JÚNIOR, Álvaro Sérgio Barbosa; PINHEIRO, Gabriel. **MANUAL DE EXECUÇÃO DE PUC PAVIMENTO URBANO DE CONCRETO Transformando o Urbanismo com Inovação e Sustentabilidade**. São Paulo, 2024. Disponível em: https://pavimentourbano.deconcreto.com.br/wp-content/uploads/2024/08/Manual-de-execucao-PUC_com-capa_final.pdf. Acesso: 20 jan. 2025.

JÚNIOR, Rubens Mauro de Amorim. Revisão sistemática da aplicabilidade da pavimentação rígida e flexível em rodovias. **Brasil Escola**, 2020. Disponível em: <https://meuartigo.brasilecola.uol.com.br/engenharias/revisao-sistematica-da-aplicabilidade-da-pavimentacao-rigida-e-flexivel-em-rodovias.htm>. Acesso: 25 jan. 2025.

KUSTER, Maikell P. **Pavimento de Concreto: Viabilidade e Seus Benefícios**. Universidade de Araraquara – UNIARA. Araraquara – SP, [s.d]. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/pavimento-de-concreto-viabilidade-e-seus-beneficios>. Acesso: 26 dez. 2024.

MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira. **Notas de Aula da Disciplina Pavimentação**. FACULDADE DE ENGENHARIA. UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA. Juiz de Fora, [s.d]. disponível em: <https://professor.pucgoias.edu.br/sitedocente/admin/arquivosUpload/17735/material/Notas-de-Aula-Prof.-Geraldo.pdf>. Acesso: 25 jan. 2025.

MASCHIO, Alexsander. **Minicurso sobre Pavimento Urbano de Concreto para Baixo e Médio Tráfego – Baixas Espessuras**. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND: ABCP, 2021. Disponível em: <https://abcp.org.br/minicurso-sobre-pavimento-urbano-de-concreto-para-baixo-e-medio-trafego-baixas-espessuras/>. Acesso: 25 a 30 mai. 2025.

MASCHIO, Alexsander. **Pavimentos Urbanos de Concreto**. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND: ABCP, 2020. Disponível em:

MELO, Leandra Rodrigues; OLIVEIRA, Ricardo Fonseca de. Deterioração de Pavimentos Rodoviários: Estudo de Caso do Trecho da MG 190 e Monte Carmelo entre Abadia do Dourados. **Revista GeTeC: Gestão, Tecnologia e Ciências**, Minas Gerais, v. 10 n. 30 (2021). Disponível em: <https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/getec/article/view/2454>. Acesso: 25 jan. 2025.

MOTTA, Lauro C. F. **Pavimentação Urbana: Formação Básica para Projetistas e Gestores de Infraestrutura Viária**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

NAKAMURA, Juliana. Desmoldantes aumentam durabilidade e reaproveitamento das fôrmas de concreto. **AECweb**, 2020. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/revista/materias/desmoldantes-aumentam-durabilidade-e-reaproveitamento-das-formas-de-concreto/20493>. Acesso: 28 mai. 2025.

NSUMBU, Tresor Mbiya. **Análise de Desempenho do Concreto com Adição de Macrofibras Sintéticas de Polipropileno submetido a Meio Agressivo**. Universidade Federal de Minas Gerais, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/42708/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Tresor.pdf. Acesso: 25 à 28 mai. 2025.

O concreto nas obras de arte especiais na engenharia. **Concrete Show Digital**, 2021. Disponível em: <https://digital.concreteshow.com.br/artigos/o-concreto-nas-obras-de-arte-especiais-na-engenharia/>. Acesso: 26 jan. 2025.

OLIVEIRA, Nathan R. da S. **Análise de Viabilidade Técnica e Econômica dos Sistemas de Pavimentação Rígida e Flexível: Uma Revisão Sistemática**. Universidade Federal de Alagoas. Campus Sertão, 2023. Disponível em: https://www.repositorio.ufal.br/jspui/bitstream/12345_6789/13795/1/An%C3%A1lise%20de%20viabilidade%20t%C3%A9cnica%20e%20econ%C3%B4mica%20dos%20sistemas%20de%20pavimenta%C3%A7%C3%A3o%20r%C3%ADgida%20e%20flex%C3%ADvel%20uma%20revis%C3%A3o%20sistem%C3%A1tica..pdf. Acesso: 26 dez. 2024.

OLIVEIRA, Patrícia Lizi de. **Projeto estrutural de pavimentos rodoviários e pisos industriais de concreto**. Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, São Carlos/SP, 2000. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-29052006-65910/publico/2000ME_PatriciaLiziOliveira.pdf. Acesso: 27 dez. 2024.

O que é Pavimento com Concreto Reforçado com Fibras. **PAVSINAL**, 2024. Disponível em: <https://pavsinal.com.br/glossario/o-que-e-pavimento-com-concreto-reforcado-com-fibras/>. Acesso: 30 jan. 2025.

Pavimento urbano de concreto (PUC) reforçado com macrofibras sintéticas estruturais. **BarChip Inc**, 2025. Disponível em: [https://www.barchip.com.br/post/pavimento-urbano-de-concreto-puc-reforcado-com-macrofibras-sinteticas-estruturais#:~:text=A%20BarChip%20%C3%A9%20pioneira%20e,urbano%20de%20concreto%20\(PUC\)](https://www.barchip.com.br/post/pavimento-urbano-de-concreto-puc-reforcado-com-macrofibras-sinteticas-estruturais#:~:text=A%20BarChip%20%C3%A9%20pioneira%20e,urbano%20de%20concreto%20(PUC).). Acesso: 31 jan. 2025.

PERET, C. M et al. Reforço mecânico por fibras poliméricas e seus efeitos na secagem de concretos refratários. **Cerâmica**, São Paulo, ano 49, n. 312, dez 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/C4GLKg6YNVQjQNYp7MsBB4r/?lang=pt#:~:text=Fibras%20polim%C3%A9ricas%20t%C3%AAm%20sido%20utilizadas,o%20primeiro%20aquecimento%20do%20concreto>. Acesso: 30 jan. 2025.

PITTA, Márcio Rocha. **Estudo Técnico - Et-81 :Construção de Pavimentos de Concreto Simples**. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND: ABCP. São Paulo, 1998. 3.ed. Disponível em: https://abcp.org.br/wp-content/uploads/2016/01/ET-81Construcao_pav_conc_simples.pdf. Acesso: 20 à 30 mai. 2025.

Primeiro Pavimento Urbano de Concreto da América tem mais de 130 anos. **Solução para cidades**, 2015. Disponível em: <https://www.solucoesparacidades.com.br/#blog>. Acesso: 15 dez. 2024.

RODRIGUES, Lezzir Ferreira. **Juntas em Pavimentos de Concreto: Dispositivos de Transferência de Cargas**. São Carlos, 2008. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-06052008-104105/publico/2008DO_LezzirRodrigues.pdf. Acesso: 25 jan. 2025.

SANTOS, Altair. Projeto para pavimento rígido terá prática recomendada. **Massa Cinzenta**, 2021. Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/projeto-para-pavimento-rigido-tera-pratica-recomendada/>. Acesso: 29 jan. 2025.

SECRETARIA DOS TRANSPORTES. Departamento de Estradas de Rodagem. **ET-DE-P00/040: Pavimento de Concreto de Cimento Portland sobre Plataforma de Terraplenagem – Manual**. São Paulo, 2007. Disponível em: https://www.der.sp.gov.br/WebSite/Arquivos/normas/ET-DE-P00-040_A.pdf. Acesso: 26 jan. 2025.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de técnicas de pavimentação**: Volume I. 2. ed. São Paulo: PINI, 2007. 777 p. Disponível em: https://www.academia.edu/44496021/Manual_de_t%C3%A9cnicas_de_pavimenta%C3%A7%C3%A3o_Volume_I_Wlastermiler?auto=download. Acesso: 18 dez. 2024.

SOUZA, Ruitier da S. **Terraplanagem e Pavimentação**. Pontifícia Universidade Católica de Goiás, [s.d] Disponível em: <https://professor.pucgoias.edu.br/sitedocente/admin/arquivosUpload/17735/material/Aula%2020-%20Defini%C3%A7%C3%A3o%20e%20Classifica%C3%A7%C3%A3o%20do%20Pavimento.pdf>. Acesso: 18 dez. 2024.

STAUDT, Leandro. Faixa de Gravataí: construção e pedágio de pioneira estrada de concreto. **Zero Hora**, Porto Alegre, 2024. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/>. Acesso: 25 jan. 2025.

VIANA, Hélio Marcos Fernandes. **Notas de aulas de Pavimentação (parte 12): Pavimentos rígidos (1.o Parte)**. Faculdade de Tecnologia e Ciências – FTC, 2018. Disponível em: <https://engcivil20142.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/03/notas-de-aulas-parte-12-paviment.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2025.

Whitetopping permite restaurar vias com menor custo e alto desempenho. **Pavimento de Concreto: caminho do futuro**, 2023. Disponível em: <https://pavimentodeconcreto.com/whitetopping-permite-restaurar-vias-com-menor-custo-e-alto-desempenho/>. Acesso: 25 jan. 2025.