CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
ENGENHARIA DE TRANSPORTES

ALMIR SILVA RIBEIRO JUNIOR

ANÁLISE DA QUALIDADE DE PAVIMENTOS INTERTRAVADOS COMERCIALIZADOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE COM BASE NA NORMA NBR-9781/2013

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

BELO HORIZONTE
2021

ALMIR SILVA RIBEIRO JUNIOR

ANÁLISE DA QUALIDADE DE PAVIMENTOS INTERTRAVADOS COMERCIALIZADOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE COM BASE NA NORMA NBR-9781/2013

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Graduação em Engenharia de Transportes do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Mateus Justino da Silva

BELO HORIZONTE
2021

FOLHA DE APROVAÇÃO

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

ANEXO IV - ATA DE DEFESA

"Análise da qualidade de pavimentos intertravados comercializados na região metropolitana de belo horizonte com base na norma NBR-9781/2013"

Almir Silva Ribeiro Júnior

Trabalho de conclusão de curso submetido à Comissão Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Graduação em Engenharia de Transportes, APROVADO como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Transportes.

_____
ORIENTADOR
Prof. D. Sc. Mateus Justino da Silva

_____
Prof. M.Sc. Mario de Souza Silva

_____
Prof. D. Sc. Geraldo Magela Damasceno

Aprovada na 26ª Reunião do Colegiado do curso de graduação em Engenharia de Transportes

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
SISTEMA INTEGRADO DE PATRIMÔNIO, ADMINISTRAÇÃO E CONTRATOS

FOLHA DE ASSINATURAS

Emitido em 15/04/2021

ATA Nº 50/2021 - DET (11.55.11)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 15/04/2021 20:37)
GERALDO MAGELA DAMASCENO
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DET (11.55.11)
Matrícula: 1450794

(Assinado digitalmente em 15/04/2021 20:49)
MARIO DE SOUZA SILVA
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DET (11.55.11)
Matrícula: 1812301

(Assinado digitalmente em 15/04/2021 21:25)
MATEUS JUSTINO DA SILVA
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DET (11.55.11)
Matrícula: 3568965

Para verificar a autenticidade deste documento entre em https://sig.cefetmg.br/documentos/ informando seu número: **50**, ano: **2021**, tipo: **ATA**, data de emissão: **15/04/2021** e o código de verificação: **de118596d5**

“Esta monografia é dedicada aos meus pais, pilares da minha formação como ser humano, e a minha esposa Josyene, alicerce da minha vida.”

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Mateus Justino da Silva, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória, não medindo esforços em todos os momentos de desenvolvimento do estudo.

Aos meus colegas de turma, por compartilharem comigo tantos momentos de descobertas e aprendizado e por todo o companheirismo ao longo deste percurso. Em especial Guilherme Guimarães, Gustavo Henrique e Pedro Henrique, pelo apoio e incentivo incondicional em cada passo da minha trajetória no curso.

A Secretaria do Curso, pela cooperação.

Ao Prof. Dr. Augusto Cesar da Silva Bezerra, pelas orientações e disponibilidade nas atividades de laboratório.

A Profª. Dra. Anna Carolina Corrêa Pereira por ter compartilhado conhecimento e orientações durante todo o desenvolvimento deste estudo.

Aos Profs. Dr. Geraldo Magela Damasceno e Prof. Me. Mário de Souza Silva, elas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional ao longo do curso.

Ao Prof. Dr. Elton José da Silva Júnior, que, mesmo indiretamente, contribuiu para o desenvolvimento do presente estudo.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

“Lembre-se que as pessoas podem tirar tudo de você, menos o seu conhecimento.”

(Albert Einstein)

RESUMO

RIBEIRO JUNIOR, Almir Silva. **Análise da Qualidade de Pavimentos Intertravados na Região Metropolitana de Belo Horizonte com base na Norma NBR-9781/2013.** 2021. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia de Transportes. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2021.

O Brasil é um país essencialmente dependente do modo rodoviário de transportes. Tem o pavimento flexível de composto asfáltico como o mais utilizado. Outros tipos de pavimentos utilizados em uma menor proporção são os pavimentos rígidos e os pavimentos intertravados. Desta forma, o presente trabalho foi desenvolvido sobre o pavimento intertravado, que se apresenta como uma alternativa mais atraente para determinados usos. O estudo é composto pela aplicação da norma NBR-9781/2013, visando a adequação dos pavimentos intertravados, comercializados na Região Metropolitana de Belo Horizonte a estas normas. Na primeira etapa do trabalho foi realizada a parte teórica, que inclui a introdução, definição de objetivos, justificativa para o trabalho. Também foi realizada uma revisão bibliográfica que contem o histórico da pavimentação, bem como seus principais conceitos, similaridades e diferenças. Em seguida, foi feita a pesquisa com forme descrito no capítulo Métodos onde foram efetuados os testes com os pavimentos adquiridos e os resultados foram apresentados. Por fim, conclui-se que os pavimentos não atenderam todos os requisitos exigiram pela norma, estando aquém do mínimo exigido. Além disso, é apresentado possíveis soluções para o problema encontrado e sugerindo caminhos para estudos posteriores.

Palavras-chave: Pavimentação. ABNT. Pavimento Intertravado. Adequação. Resistencia a Compressão

ABSTRACT

RIBEIRO JUNIOR, Almir Silva. Quality Analysis of Interlocking Pavements in the Metropolitan Region of Belo Horizonte based on Norm NBR-9781/2013. 2021. 51 f. Course Conclusion Paper (Graduation) - Transport Engineering. Federal Center for Technological Education of Minas Gerais, 2021.

Brazil is essentially a country dependent on the road transport mode. It has the flexible pavement of asphalt compound as the most used. Other types of pavements used in a smaller proportion are rigid pavements and interlocking pavements. In this way, the present work was developed on the interlocking pavement, which presents itself as a more attractive alternative for certain uses. The study consists of the application of the standard NBR-9781/2013, aiming at the adaptation of the interlocking pavements, commercialized in the Metropolitan Region of Belo Horizonte to these standards. In the first stage of the work, the theoretical part was carried out, which includes the introduction, definition of objectives, justification for the work. A bibliographic review was also carried out that contains the pavement history, as well as its main concepts, similarities and differences. Then, the research was carried out as described in the Methods chapter where the tests were carried out with the acquired pavements and the results were presented. Finally, it is concluded that the floors did not meet all the requirements required by the standard, being below the minimum required. In addition, possible solutions are presented for the problem encountered and suggesting paths for further studies.

Keywords: Paving. ABNT. Interlocked Floor. Adequacy. Compression Resistance

LISTA DE ABREVIATURAS

h	Hora
MPa	Mega Pascal
CPs	Corpos de Prova
kN	Quilo Newton
kPa/s	Quilo Pascal por segundo
mm^2	Milímetros ao quadrado
mm	Milímetros
min	Minutos

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Via Appia, Roma..... 20
Figura 2 - Rodovia dos Imigrantes..... 21
Figura 3 - Comparação de Camadas de Pavimentos..... 22
Figura 4 - Comparação entre os Tipos de Estrutura de Pavimentos..... 23
Figura 5 - Trecho duplicado BR-163..... 24
Figura 6 - Camadas Pavimento Rígido..... 24
Figura 7 - Camadas Pavimentos Rígidos (2) 25
Figura 8 - Camadas Pavimentos Semirrígidos..... 26
Figura 9 - Pavimento Flexível – Camadas..... 28
Figura 10 - Estrutura Pavimentos Flexíveis..... 28
Figura 11 - Rodovia Pavimento Flexível – BR-381..... 29
Figura 12 - Pavimento Intertravado – Camadas..... 30
Figura 13 - Exemplo de Rua com Pavimento Intertravado..... 31
Figura 14 - Exemplo de Trincas (Couro de Jacaré) 32
Figura 15 - Patologias em Pisos Intertravados..... 34
Figura 16 - Patologias em Pisos Intertravados (2) 34
Figura 17 - Patologias em Pisos Intertravados (3) 35
Figura 18 - Chanfro de uma peça de concreto..... 39
Figura 19 - Aspecto das arestas de uma peça de concreto..... 40
Figura 20 - Detalhe do ângulo de Inclinação da peça de Concreto..... 40
Figura 21 - Peças de Concreto Tipo 1..... 46
Figura 22 - Peças de Concreto Tipo 2..... 47
Figura 23 - Peças de Concreto Tipo 3..... 47
Figura 24 - Peças de Concreto Tipo 4..... 47
Figura 25 - Assentamento Piso Espinha de Peixe..... 57

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 – Amostras - Empresa A 40
Fotografia 2 – Detalhe da Peça - Empresa A..... 41
Fotografia 3 – Amostras - Empresa B 41
Fotografia 4 – Detalhe da Peça - Empresa B..... 42
Fotografia 5 – Amostras - Empresa C 42
Fotografia 6 – Detalhe da Peça - Empresa C..... 43
Fotografia 7 – Amostras - Empresa D 44
Fotografia 8 – Detalhe da Peça - Empresa D..... 44
Fotografia 9 – Amostras - Empresa E 45
Fotografia 10 – Detalhe da Peça - Empresa E..... 45
Fotografia 11 – Paquímetro 48
Fotografia 12 – Ensaio Absorção de Água – CPs Submersos 49
Fotografia 13 – Ensaio Absorção de Água – Termômetro..... 50
Fotografia 14 – Ensaio Absorção de Água – Drenagem de Água 50
Fotografia 15 – Ensaio Absorção de Água – Pesagem CPs 51
Fotografia 16 – Ensaio Absorção de Água – Estufa de secagem 51
Fotografia 17 – Ensaio Resistência à Compressão (1) 52
Fotografia 18 – Ensaio de Resistência à Compressão (2) 53
Fotografia 19 – Equipamento para Rompimento de Corpos de Prova 53

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 – Área de Estudo do TCC..... 36

LISTA DE SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
CDL/BH	Câmera dos Dirigentes Lojistas de Belo Horizonte
CEFET-MG	Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
CNT	Confederação Nacional de Transportes
DER	Departamento de Estradas e Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DET	Departamento de Engenharia de Transportes
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBRACON	Instituto Brasileiro de Concreto
PIB	Produto Interno Bruto
PPC	Peças Pré-Moldadas de Concreto
RMBH	Região Metropolitana de Belo Horizonte
TKUs	Tonelada-Quilômetro Útil

LISTA DE SÍMBOLOS

km	Quilômetro
%	Porcentagem
°C	Graus Centigrados
+/-	Mais ou menos

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Amostragem para Ensaio..... 38
Tabela 2 - Fator multiplicativo p..... 54
Tabela 3 – Coeficiente de Student..... 55
Tabela 4 - Resistência Característica a Compressão..... 55
Tabela 5 – Análise Dimensional - Empresa A (Tipo I)..... 56
Tabela 6 – Análise Dimensional - Empresa B (Tipo I)..... 57
Tabela 7 – Análise Dimensional - Empresa C (Tipo I)..... 58
Tabela 8 – Análise Dimensional - Empresa D (Tipo I)..... 58
Tabela 9 – Análise Dimensional - Empresa E (Tipo I)..... 59
Tabela 10 – Ensaio de Absorção - Empresa A..... 59
Tabela 11 – Ensaio de Absorção - Empresa B..... 60
Tabela 12 – Ensaio de Absorção - Empresa C..... 60
Tabela 13 – Ensaio de Absorção - Empresa D..... 61
Tabela 14 – Ensaio de Absorção - Empresa E..... 61
Tabela 15 – Ensaio de Resistencia à Compressão - Força Máxima Aplicada.... 62
Tabela 16 – Ensaio de Resistencia à Compressão - Tensão Máxima..... 62
Tabela 17 –Resistencia Característica Estimada à Compressão..... 63
Tabela 18 – Quadro Resumo - Adequação aos Ensaios - NBR-9781/2013..... 65

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Problemas e Premissas	17
1.2	Objetivos	17
1.2.1	Objetivo Geral	17
1.2.2	Objetivos Especificos	17
1.3	Justificativa e relevância	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	Histórico e Conceito de Pavimentação	19
2.1.1	Histórico	19
2.1.2	Conceito	21
2.2	Tipos de Pavimentos	22
2.2.1	Classificação dos Pavimentos	22
2.2.1.1	Pavimentos Rígidos	23
2.2.1.2	Pavimentos Semirrígidos	26
2.2.1.3	Pavimentos Flexíveis	27
2.2.1.3.1	Pavimentos Intertravados	28
2.3	Principais Patologias nos Pavimentos	31
2.4	Região de estudo	36
3	MÉTODOS E TÉCNICAS	38
3.1	Inspeção Visual	39
3.2	Avaliação Dimensional	46
3.3	Absorção de Água	48
3.4	Resistência à Compressão	52
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
4.1	Análise Dimensional	56
4.2	Ensaio de Absorção	59
4.3	Ensaio de Resistência Característica a Compressão	61
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
	REFERÊNCIAS	68
	APÊNDICE A – Relatórios de Ensaios	71

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país de dimensões continentais e que possui uma economia que está entre as maiores do mundo. Apresentou um PIB (Produto Interno Bruto), na casa dos 7,3 trilhões de reais em 2019, distribuídos em 5,2% da Agropecuária, 20,9% da Indústria e de 73,9% do setor de serviços IBGE (2020). O agronegócio, indústria e serviços dependem da malha rodoviária para o transporte de seus produtos e serviços de forma eficiente e econômica, gerando assim maior rentabilidade e prosperidade para a cadeia produtiva. Para que isso seja possível, é necessária uma infraestrutura logística que proporcione o mínimo de confiabilidade no escoamento dos produtos a seus respectivos destinos.

Desta forma, apesar de representar o menor peso no PIB do Brasil, o agronegócio tem destaque nas exportações. Dos 10 produtos mais exportados em 2019, sete são provenientes do agronegócio. As exportações representaram 225,4 bilhões de dólares neste mesmo ano. Toda esta produção é escoada desde os centros de produção até os portos. Alguns dos estados mais exportadores, como Minas Gerais e Mato Grosso, não estão próximos dos principais portos do país, o que exige um grande esforço para o transporte da produção (FAZCOMEX, 2020).

Este transporte é feito em sua grande parte por meio rodoviário. Dados mostram que em 2019, o Brasil movimentou 61% de suas cargas através das rodovias, considerando os TKUs (tonelada-quilômetro útil) movimentados. No mesmo período, 21% das cargas seguiram pelo modo ferroviário, 12% por cabotagem, 4% por dutos, 2% por hidrovias e menos de 1% pelo modal aéreo, de acordo com o site especializado em logística (ILOS, 2020).

Como pode-se perceber, o transporte rodoviário representa, também o principal modo do país. São 1.720.700,3 km em 2019, sendo 12,4% pavimentados (213.452,8 km). Houve um aumento de 0,5% na malha ao longo de 10 anos, sendo que a frota de veículos subiu 74,1% no mesmo período, segundo Anuário CNT 2019. Dentre a parte pavimentada, destaca-se os dois tipos de pavimentação mais utilizados. No Brasil, 95% da pavimentação é de asfalto flexível, o pavimento rígido tem algo em torno de 5%.

Especificamente no Estado de Minas Gerais, há 15.363 km de rodovias, sendo 12.258 km pavimentadas, segundo CNT (2019). Destas 10.267 km (83,76%) estão em estado regular, ruim ou péssimo.

Desta forma, considerando a importância do Estado de Minas Gerais no PIB e na economia do país, o presente estudo será realizado com ensaios de amostras de pavimentos intertravados comercializados na região Metropolitana de Belo Horizonte. Será utilizada a NBR-9781 como base para averiguar qual o nível de adequação destes produtos em relação as normas. Serão realizados testes de resistência a compressão, avaliação dimensional. absorção de água, e inspeção visual.

Diante disto, o presente estudo está divido em 4 partes:

A primeira parte é composta pela Introdução, Problemas e Premissas, Objetivos e Justificativa. Neste momento são feitas as considerações sobre a importância do estudo e como se dará seu direcionamento.

A segunda parte é composta pelo Referencial Teórico, que se trata de revisão da bibliografia. Foram feitas pesquisas sobre o tema, como histórico e conceituação da pavimentação, detalhamento dos principais tipos de pavimentos. Estudo da norma utilizada no estudo, NBR-9781/2013 e detalhamento da região de estudo, cidade de Belo Horizonte (MG), com base em artigos, livros, periódicos entre outros, visando criar embasamento teórico para a realização da pesquisa.

A terceira parte é composta pela metodologia de estudo, onde serão apresentados os testes que serão feitos, bem como a quantidade de amostras obtidas. Além disso, serão apresentados os resultados de cada teste realizado bem como a sua adequação ou não a norma NBR-9781/2013.

Por fim, a quarta parte é composta pela conclusão do projeto em que serão apresentadas as considerações finais sobre o estudo, bem como dificuldades encontradas ao longo do projeto e sugestões para trabalhos futuros sobre o tema abordado.

1.1 Problemas e Premissas

O problema do presente estudo é:
Qual a Qualidade de Pavimentos Intertravados comercializados na Região Metropolitana de Belo Horizonte com base na norma NBR-9781/2013

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a Qualidade de Pavimentos Intertravados na Região Metropolitana de Belo Horizonte com base na norma NBR-9781/2013.

1.2.2 Objetivos Específicos

a) Caracterizar os pavimentos no Brasil, conforme sua importância, uso e viabilidade;
b) Definir as principais patologias nos pavimentos e suas principais causas;
c) Realizar testes de compressão, avaliação dimensional, absorção de água e inspeção visual;

1.3 Justificativa e relevância

Dados do Anuário CNT 2019, mostram que apenas 12,4% das rodovias e estradas são pavimentadas. Além disso, 59% das rodovias foram avaliadas como regulares, ruins ou péssimas, sendo que 54%, trata-se de situação do pavimento. No estado de Minas Gerais, unidade da federação com terceiro maior PIB do país a situação é ainda mais alarmante. Conforme o mesmo estudo, menos de 15% das rodovias pavimentadas, estão em situação ótima ou boa. Desta forma, percebe-se que, em um país que 2/3 do transporte de cargas e passageiros é feito por rodovias, o que demonstra que o estudo dos pavimentos é extremamente importante.

Outro ponto a ser destacado, é que o pavimento flexível é o mais utilizado no Brasil, 95%. Apesar de trazer um maior conforto ao motorista, é o pavimento com

maior custo. Oliveira (2018) enfatiza que a implantação do pavimento intertravado é em torno de 16,93% mais em conta do que o pavimento flexível.

Diante do exposto, percebe-se a importância do presente estudo, visando auferir a qualidade de produtos comercializados na Região Metropolitana de um tipo de pavimento mais econômico do que é normalmente utilizado. Assim sendo, pode-se tornar uma opção a médio e longo prazo para aumentar o nível de pavimentação no país, reduzindo as perdas econômicas e humanas das estradas sem condições de tráfego por todo o Brasil.

O Estudo será realizado na Região Metropolitana de Belo Horizonte devido a importância econômica no Estado de Minas Gerais, responsável por 40% do Produto Interno Bruto. Além disso, foi ponderado a necessidade de escoamento da produção até os principais portos do país, que é feita em sua grande parte por modo rodoviário.

Ressalta-se que o estudo enfatizou os pavimentos que são comercializados e não os pavimentos já implantados e/ou instalados nas rodovias e estradas devido ao fato de o estudo ter por objetivo averiguar se há produtos com qualidade para que haja elevação no percentual de rodovias pavimentadas com menor custo no estado. Também foi levado em conta dificuldade logística e burocracias existentes para obtenção de autorizações junto aos órgãos e concessionarias para retirada de amostras para os ensaios.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Histórico e Conceito de Pavimentação

2.1.1 Histórico

A história da humanidade inicia-se a milhares de anos atrás. Segundo Rossi (2018) o *homo sapiens* surgiu na terra a cerca de 200 mil anos atrás na África Oriental. Mas somente a 12 mil anos que foram sendo desenvolvidas atividades que são chamadas de revolução agrícola, como a domesticação de plantas e animais e assentamentos permanentes.

Com isso, a necessidade de locomoção é cada vez maior. A domesticação de animais fez com que o transporte de cargas fosse facilitado, o que elevou significativamente as distâncias percorridas. Por volta de 3000 a.C. que se tem o primeiro registro de uma estrada, na Pérsia, na mesma época em que surgiram os veículos a roda. A via ligava civilizações da Mesopotâmia (atual região do Iraque), Egito, Pérsia, Turquia e Grécia, ao longo de aproximadamente 2 800 quilômetros. Ao mesmo tempo, um sistema rodoviário interligava o comércio da China imperial. A extensão era de quase 3 200 quilômetros. A pavimentação era de pedra. Muitas vias eram largas. A manutenção não era regular. Vias acabavam precárias. Compara-se sua importância à que teriam mais tarde as estradas romanas para a Europa e a Anatólia (atual região da Turquia). (DELVALLE, 2017),

No Egito, com a construção das pirâmides, 2600-2400 a.C., se mostrou necessário implantar estradas, não para veículos com rodas, mas para trenós que davam auxílio ao transporte de cargas, conforme (MARE ET AL, 2011). Foram construídas então vias com lajões justapostos fornecendo boa capacidade de suporte. Já segundo, o uso de pequenas pedras para criar uma superfície de rolamento remonta da Babilônia Antiga, sendo atribuído aos romanos o desenvolvimento de vias sofisticadas que, inicialmente, tinham propósitos militares, mas contribuíram muito para o desenvolvimento comercial (OLIVEIRA, 2004).

Maré et al (2011) ainda enfatiza que até cerca de 400 a.C., os romanos utilizavam caminhos de terra para se deslocarem da sua capital às cidades vizinhas. Com a necessidade de expansão e interesse militar, a República Romana começou a construir uma rede viária que acabou por aproximar os povos, prestando um precioso

serviço à civilização e ao comércio, tendo contribuído para o sucesso da Romanização. A Figura 1 mostra um exemplo de estrada do Império Romano.

Figura1: Via Appia, Roma

Fonte: Roberto Aquilano / Shutterstock.com

Naquela época já era percebida a importância que as rodovias faziam para as sociedades, que estavam com ambições de desenvolvimento e que as mesmas, sem as devidas manutenções, sofreriam degradações ao longo do tempo. As estradas fazem parte da história de muitas civilizações ao longo de milhares de anos, retratadas através de conquistas de territórios e continentes, distribuição de mercadorias e o desenvolvimento de sociedades de acordo com (LOPES, 2012). Há também relatos da ambição do Rei Luiz XIV da França na ampliação e manutenção das estradas em seu país, com a criação da École Nationale des Ponts et Chaussées (Escola Nacional de Pontes e Estradas), decretando seu desejo de criação de 6 mil léguas de estradas (BALBO, 2015).

Já no Brasil, em 1841, D. Pedro II encarregou o major engenheiro alemão Júlio Frederico Koeler de construir um caminho melhor de Porto da Estrela, no Rio de Janeiro, a Petrópolis, onde a família imperial costumava passar temporadas na Fazenda Córrego Seco, atual Petrópolis. A estrada era a principal via para se chegar às Minas Gerais e tinha grande importância econômica. Surgia, assim, a Estrada Normal da Serra da Estrela, que pode ser percorrida até hoje. Naquela época, era preciso seguir de barco até Porto Mauá, depois por estrada precária até Raiz da Serra e, então, ir pela nova estrada, num percurso de 14 km, até Petrópolis (DERMG, 2017)

A origem da primeira Estrada de Rodagem do Brasil, maior obra de engenharia na América Latina em seu tempo, deu-se a 7 de agosto de 1852, quando

um decreto do governo imperial n.º 1.301, autorizou a construção, melhoramento e conservação de duas linhas de estradas. A obra exigiu, entretanto, grande esforço para os engenheiros e operários, já que a estrada era entrecortada por cursos d'água e pelas escarpas graníticas da serra do Taquaril. Foi necessário o auxílio de profissionais alemães. O brasileiro Antônio Maria Bulhões ficou responsável pelo trecho entre Petrópolis e três Rios, enquanto o alemão Keller assumia a responsabilidade do trecho Três Rios a Juiz de Fora, na época a Cidade do Paraibuna (DNIT, 2020)

Atualmente, o Brasil possui 1.720.700,3 km em 2019, sendo 12,4% pavimentados (213.452,8 km), conforme CNT 2019. O pavimento flexível, representa 95% da pavimentação no Brasil. Já o rígido, representa apenas algo em torno, 5%, ressalta (ARAUJO, 2016). A Figura 2, demonstra um trecho de uma das mais modernas rodovias do país, a Rodovia dos Imigrantes no Estado de São Paulo. Em seguida, será abordado os conceitos de pavimentos e as suas principais diferenças.

Figura 2: Rodovia dos Imigrantes

Fonte: Ecovias

2.1.2 Conceito

Em obras de engenharia como rodovias, aeroportos, ruas, etc., a superestrutura é constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assente sobre o terreno de fundação, considerado como semi espaço infinito e designado como subleito (SENÇO, 1997).

A NBR -16.416/2015, da ANBT, define pavimentos como:

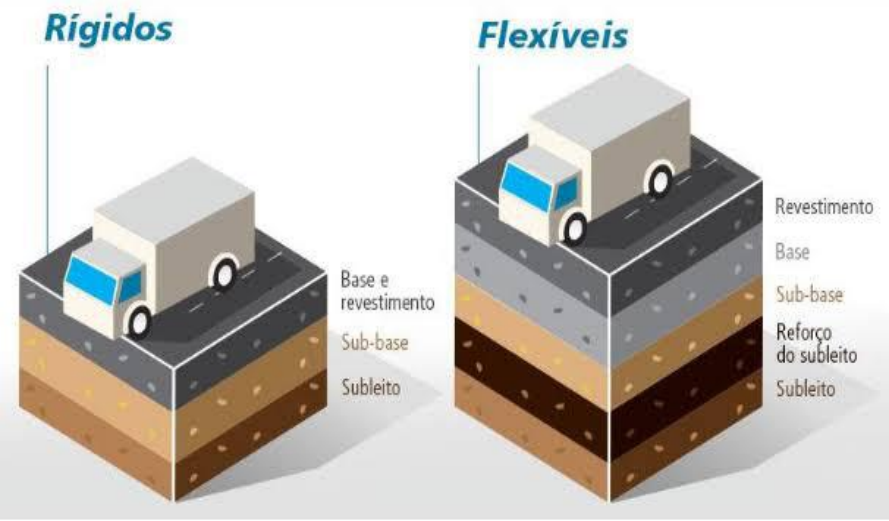
> "O pavimento é uma estrutura construída após terraplenagem e destinada, econômica e simultaneamente a: resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego; melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança; resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento." (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015, p. 2)

Conforme Santana (1993), pavimento é uma estrutura construída sobre a superfície obtida pelos serviços de terraplanagem com a função principal de fornecer ao usuário segurança e conforto, que devem ser conseguidos sob o ponto de vista da engenharia, isto é, com a máxima qualidade e o mínimo custo.

Pavimento é uma estrutura construída meio de camadas de diversos materiais de diferentes características de resistência e deformabilidade após a terraplanagem. Desta forma, esta estrutura apresenta um elevado grau de complexidade no que se refere ao cálculo das tensões e deformações (SOUZA, 1980).

Silva (2011) utiliza o conceito de Souza (1980) uma vez que há um detalhamento maior do assentamento dos elementos pré-moldados em diferentes dimensões. Desta forma, neste estudo também será usado o conceito de Souza (1980), como o usual. A Figura 3, exemplifica a estrutura de dois dos principais tipos de pavimentos mais utilizados, flexível e rígido, que serão estudos mais detalhadamente no próximo tópico.

Figura 3: Comparação de Camadas de Pavimentos



Fonte: Eduqc (2019)

2.2 Tipos de Pavimentos

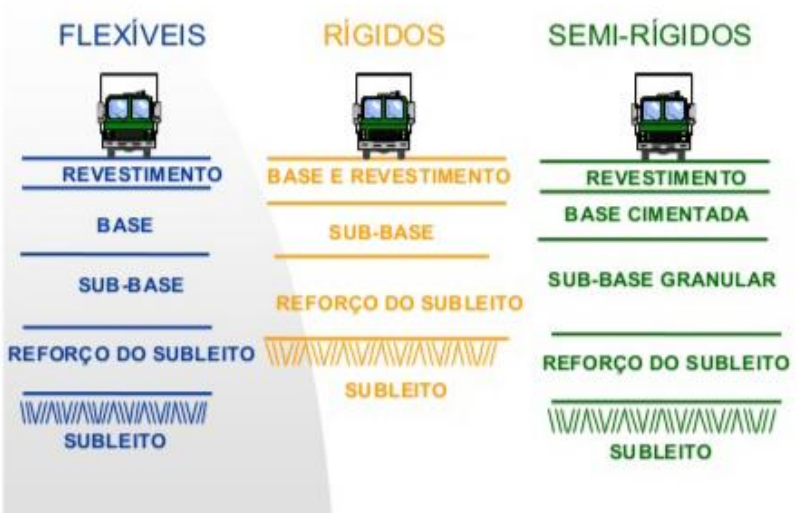
2.2.1 Classificação dos Pavimentos

Os pavimentos são divididos em flexíveis, rígidos e semirrígidos. Nos flexíveis as camadas são constituídas por materiais deformáveis que degradam pouco as solicitações. Como tal, estes pavimentos exigem espessuras maiores para reduzir

as tensões, ao nível da fundação, para valores admissíveis pelo solo. (MAIA, 2012) Silva (2011) cita que os pavimentos são comumente divididos em: rígidos, semirrígidos ou semi flexíveis e flexíveis. Huang (2003) também os pavimentos se classificam em: pavimentos rígidos ou de concreto; flexíveis ou asfálticos; e compostos ou “overlays” (Semirrígidos).

A Figura 4, ilustra um resumo das estruturas dos três tipos de pavimentos. Em seguida haverá um detalhamento de cada um dos pavimentos.

Figura 4: Comparação entre os Tipos de Estrutura de Pavimentos



Fonte: DER/PR (2008)

2.2.1.1 Pavimentos Rígidos

Balbo (1997) define pavimento rígido como o pavimento no qual a absorção de esforços se dá de forma dividida entre várias camadas, encontrando-se as tensões verticais em camadas inferiores concentradas em região próxima da área de aplicação da carga. O mesmo autor ainda ressalta ainda que os pavimentos de concreto são aqueles cuja camada de rolamento (ou revestimento) é elaborada com concreto, produtos com agregados e ligantes hidráulicos, o que pode ser feito com diversas técnicas de manipulação e elaboração do concreto, que presentam suas particularidades de projeto, execução, manutenção e operação (BALBO, 2016).

Os pioneiros dos pavimentos rígidos foram os ingleses, que iniciaram a sua construção em 1865. O primeiro pavimento de concreto construído nos Estados Unidos da América data de 1891 e hoje funciona como calçadão para pedestres. Foi

executado na cidade de Bellefontaine, no Estado de Ohio. SENÇO (1997 apud DA SILVA, 2014)

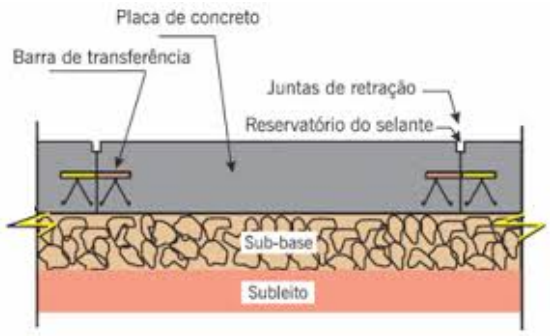
Da Silva (2014) enfatiza que os pavimentos de concreto de cimento Portland (CCP) têm sido muito utilizados nas estradas de primeira categoria e em vias urbanas de alto tráfego de muitos países. No Japão, Alemanha, Itália, Inglaterra e Bélgica, aproximadamente 50% das estradas são de concreto, enquanto nos Estados Unidos a percentagem é de cerca de 26%. (DA SILVA, 2014). Já no Brasil, segundo Araújo (2016), apenas 5% das rodovias são de pavimento rígido. A Figura 5, ilustra duplicação da BR-163, no Estado do Paraná, com a utilização de pavimentação rígida.

Figura 5: Trecho duplicado BR-163

Fonte: DNIT

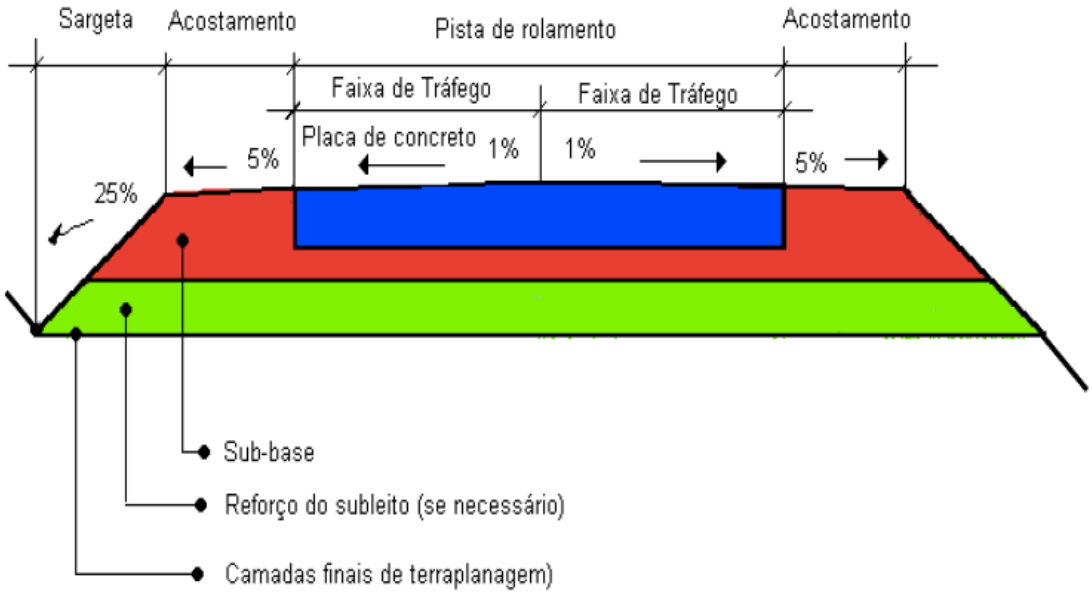
Rodrigues (2011) destaca que o pavimento rígido é constituído por uma única camada superior (laje) de concreto de cimento, na maioria das vezes de cimento Portland, que funciona simultaneamente como camada de desgaste e de base. A elevada resistência à flexão do concreto de cimento faz com que o pavimento não sofra deformações acentuadas, mesmo quando sujeito a tráfego pesado e intenso e em solos que possua fraca capacidade de carga.

Figura 6: Camadas Pavimento Rígido



Fonte: IBRACON

Figura 7: Camadas Pavimentos Rígidos (2)



Fonte: Silva (2011)

Neste mesmo sentido, Oliveira (2000), destaca que o pavimento é constituído de placas de concreto de cimento Portland, apoiados sobre a fundação, nos quais os esforços, tanto os de compressão quanto os de tração, são resistidos apenas pelo concreto. As placas são separadas por juntas moldadas ou serradas, que controlam a fissuração devida à retração, ao empenamento e à dilatação térmica. As Figuras 6 e 7 demonstram a estrutura do pavimento rígido.

O concreto é um material constituído principalmente por uma pasta de cimento e agregados, ocasionalmente também contém uma pequena quantidade de ar e aditivos usados para modificar algumas de suas propriedades. A pasta de cimento é formada pela mistura de cimento hidráulico e água, e constitui o ligante ativo do concreto. (VASQUEZ, 2014)

Além disso, o mesmo autor enumera as principais características da utilização de concreto, pois é um dos materiais mais utilizados em construções de todos os tipos e as razões podem ser resumidas da seguinte forma:

•Excelente durabilidade e resistência à corrosão e meios agressivos, e resistência ao fogo;

• Possibilidade de construção com recursos simples ou complexo de acordo com as necessidades da obra;

• Graças à sua propriedade plástica é possível atribuir-lhe uma série de formas;

• Possibilidade de antecipar e adaptar as suas características a qualquer tipo de obra;

• A sua produção pode ser realizada em qualquer país do mundo, uma vez que seus materiais são amplamente distribuídos;

Conforme visto pelos autores acima, o pavimento rígido possui uma grande utilidade, tendo em vista que são utilizados em vias que possuem grande tráfego, suportando grandes cargas, e um fluxo intenso de veículos. Apesar disso, ainda é pouco utilizado em todo mundo, principalmente no Brasil, que há uma predominância na utilização do Pavimento Flexível, que será detalhado a seguir.

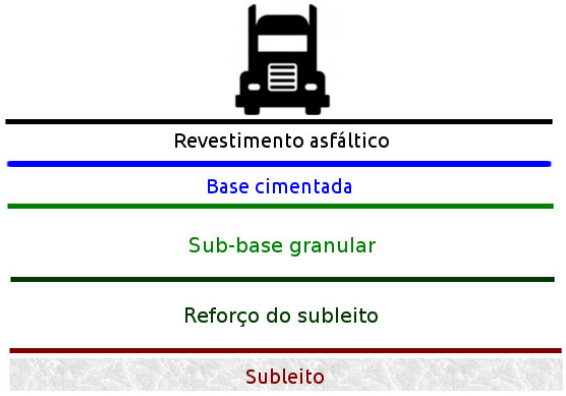
2.2.1.2 Pavimentos Semirrígidos

Os pavimentos semirrígidos apresentam as camadas superiores constituídas por materiais betuminosos e as camadas subjacentes normalmente constituídas por materiais hidráulicos (Pereira & Miranda, 1999 apud MINHOTO, 2007).

Para Pinto e Preussler (2002 apud Silva et al, 2018) pavimento semirrígido é aquele onde a rigidez da base é aumentada devido à adição de elementos quimicamente reativos como, por exemplo, o cimento. Pavimentos com base de solo cimento e revestimento asfáltico são exemplos de pavimentos semirrígidos.

(MEDINA, 1997), Quando se tem uma base cimentada sob o revestimento betuminoso, o pavimento é dito semirrígido. O pavimento reforçado de concreto asfáltico sobre placa de concreto é considerado como pavimento composto.

Figura 8: Camadas Pavimentos Semirrígidos



Fonte: Ecivilnet.com (2020)

A Figura 8 demonstra uma estrutura típica dos pavimentos semirrígidos, na qual há a base de concreto e o revestimento asfáltico.

Neste sentido, MARQUES (2002, apud Silva 2011) sustenta que os pavimentos semirrígidos podem ser considerados uma situação intermediária entre os pavimentos rígidos e flexíveis. É o caso dos pavimentos constituídos, nas camadas de base e ou sub-base, por misturas de solo-cimento, solo-cal, solo-betume, entre outras, que venham a apresentar uma razoável resistência à tração.

2.2.1.3 Pavimentos Flexíveis

Os pavimentos flexíveis são os mais utilizados no Brasil em 95% dos casos (ARAUJO, 2016). Para Balbo (2016), pavimento flexível é aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga é distribuída em partes aproximadamente equivalentes entre as camadas.

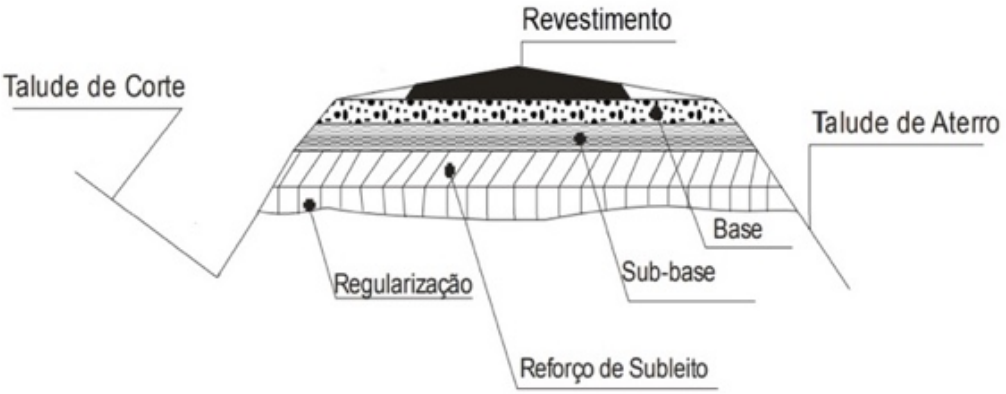
Marques (2010), ressalta que são aqueles formados por camadas que não trabalham à tração e que são constituídos de revestimento betuminoso delgado sobre camadas puramente granulares. Possuem capacidade de suporte em função das características de distribuição de cargas por um sistema de camadas superpostas, onde as de melhor qualidade encontram-se mais próximas da carga aplicada.

Os pavimentos flexíveis são aqueles em que a capacidade de suporte é função das características da distribuição de cargas por um sistema de camadas sobrepostas, em que as camadas mais próximas da carga aplicada são as que possuem melhor qualidade. É a camada superior aquela que resiste diretamente às ações e consequentes forças do tráfego e as transmite de uma forma mais ténue às camadas inferiores. (RODRIGUES, 2011)

Neste mesmo sentido, o Manual de Pavimentação do DNIT (2006) define que o pavimento flexível é aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica expressiva sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas. O pavimento pode ser constituído por uma base de brita (brita graduada, macadame) ou por uma base de solo de pedregulho, revestida por uma camada asfáltica.

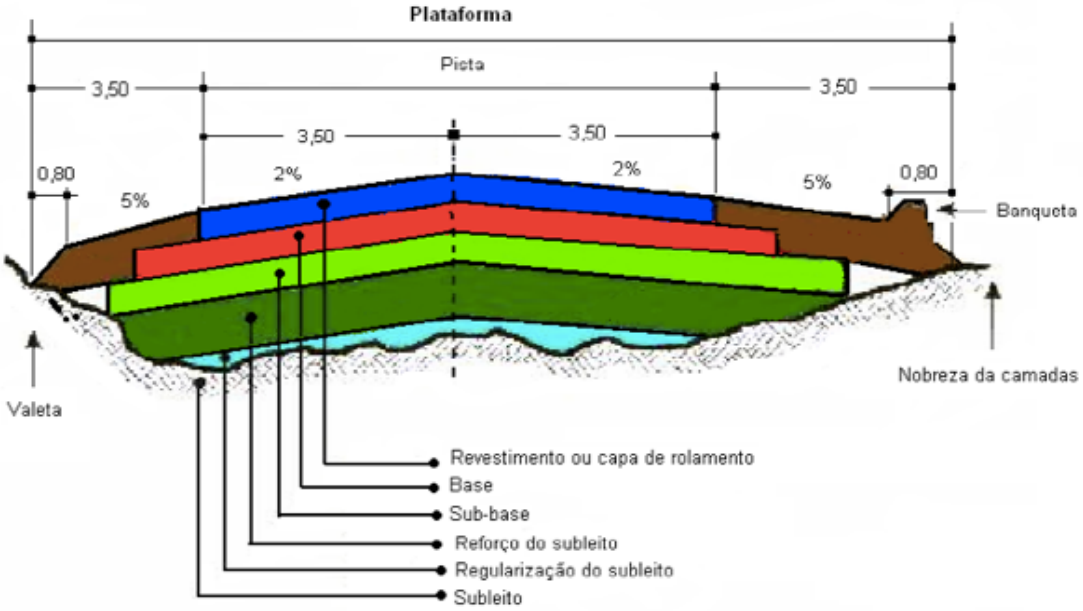
As Figuras 9 e 10 demonstram de forma clara e simples as camadas do pavimento flexível

Figura 9: Pavimento Flexível – Camadas



Fonte: Guia da Engenharia (2019)

Figura 10: Estrutura Pavimentos Flexíveis



Fonte: Silva (2011)

Segundo Minhoto (2007), os pavimentos flexíveis apresentam as suas camadas superiores constituídas por materiais betuminosos e exibem elevada deformabilidade, quando comparados com os restantes. A estrutura de um pavimento flexível pode ser descrita como um revestimento betuminoso apoiado sobre uma base granular ou de solo estabilizado mecanicamente (MEDINA, 1997 apud Rodrigues, 2011).

Neste mesmo raciocínio, Cunha (2010) define os pavimentos flexíveis como estruturas multi-estratificadas genericamente constituídos por camadas superiores de misturas betuminosas e camadas inferiores de materiais granulares. A Figura 11 demonstra um trecho da BR-381, uma das mais movimentadas do Brasil, que possui pavimento flexível.

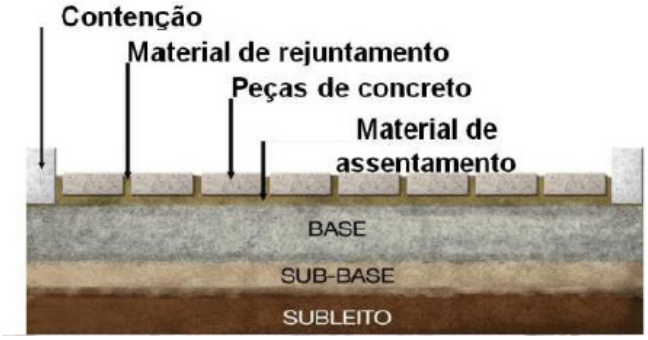
Figura 11: Rodovia Pavimento Flexível – BR-381

Fonte: Estradas.com

2.2.1.3.1 Pavimentos Intertravados

Carnin (2009) enfatiza que o pavimento intertravado é um tipo de pavimento flexível e sua construção se assemelha à um pavimento asfáltico, com preparação do subleito, sub-base ou base e camada de revestimento. A construção da camada de revestimento é bastante simples, as peças de concreto são assentadas sobre uma camada de assentamento composta por areia média ou grossa, em seguida espalha-se areia fina para o preenchimento das juntas e executa-se a compactação, até que as juntas fiquem totalmente preenchidas, conforme Figura 12.

Figura 12: Pavimento Intertravado – Camadas



Fonte: ABCP (2001)

No mesmo raciocínio acima, Silva (2011, p.13) cita que “as camadas constituintes da estrutura de um pavimento intertravado possuem a função de distribuir a tensão normal vertical aplicada na superfície, de tal maneira que o subleito receba uma parcela muito inferior desta tensão o que caracteriza um pavimento flexível.” Já MULLER (2005, apud Godinho, 2009) descreve que a camada de revestimento composta por PPC estabelece a condição de rolamento (conforto ao usuário), durabilidade do pavimento e contribui decisivamente para à função estrutural do pavimento (distribuição de tensões) por meio de suas características de intertravamento, além de suportar as tensões cisalhantes superficiais de contato das rodas dos veículos.

Os pavimentos intertravados, vem se tornando uma solução alternativa aos pavimentos rígidos e aos flexíveis de CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo). Fioriti (2007) destaca que atualmente a utilização de pavimentos intertravados com blocos pré-moldados de concreto vem crescendo em todo o mundo, particularmente no Brasil, e a possibilidade de se oferecer materiais alternativos cuja principal preocupação é o equilíbrio entre os aspectos ambientais, tecnológicos e econômicos, contribuem para o desenvolvimento deste sistema prático e confiável.

Uma das vantagens do pavimento intertravado é que ele se caracteriza pela facilidade de execução e rápido treinamento da mão-de-obra. Em geral, não necessita de equipamentos especiais e de grande porte, permitindo a utilização de mão-de-obra local e frentes de trabalho simultâneas, resultando em economia de tempo de construção e liberação ao tráfego imediata (SIMIELI, et al, 2007, apud CARNIN, 2009).

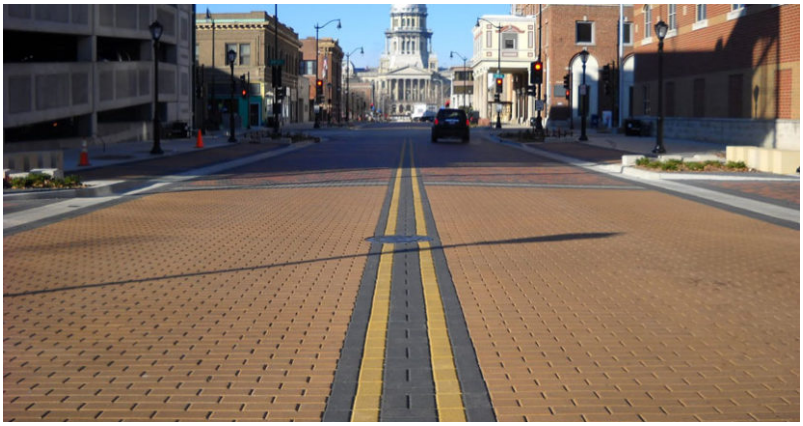
Ainda neste sentido, Cruz (2003) diz que uma das principais vantagens do intertravado, é que seu revestimento é capaz de tolerar as cargas e tensões de contato provocadas pelo tráfego resguardando a camada de base do desgaste por abrasão. Além do que, mantém a camada de base com baixos níveis de umidade, permitindo melhor estabilidade do material.

Hallack (2000 apud Cruz, 2003) observa que o revestimento do pavimento composto por PPC (Peças Pré-moldadas de concreto) gera uma grande durabilidade e resistência assentadas sobre uma camada delgada de areia.

Uma vantagem citada por Godinho (2009), é que o desenvolvimento da pavimentação intertravada permitiu relacionar a escolha da forma geométrica com o desempenho do pavimento, em função do tipo de tráfego. Mais recentemente, novas

e importantes mudanças ocorreram com a iniciativa de desenvolver o assentamento mecânico. A Figura 13 demonstra um exemplo de rua com pavimento intertravado.

Figura 13: Exemplo de Rua com Pavimento Intertravado



Fonte: TETRACON 2017

Por fim, percebe-se que através dos autores citados acima, que o pavimento intertravado, vem se tornando uma opção interessante frente aos dois tipos de pavimento: flexível e rígido. A seguir, serão listados os principais problemas em pavimentos e suas causas.

2.3 Principais Patologias nos Pavimentos

Segundo Fioriti (2007) a vida útil do pavimento intertravado pode ser de até 25 anos, desde que se tenham projetos apropriados para a sub-base, além de blocos de boa qualidade e que os mesmos estejam muito bem assentados. Desta forma, Link (2009), afirma que no decorrer da vida útil dos pavimentos, essas estruturas apresentam defeitos ligados aos mais diversos motivos. Patologias estão fortemente ligadas aos materiais empregados e ao comportamento mecânico particular de cada pavimento. A autora ainda completa que O conhecimento das patologias encontradas nos pavimentos é fundamental para uma posterior identificação das causas desses problemas e a indicação de alternativas de soluções.

Em pavimentos flexível e semirrígidos, Maia et al (2012) cita que há os seguintes tipos de patologias: Deformações, Fendilhamento, Degradação da camada de desgaste, Movimento de materiais.

Já nos pavimentos rígidos, o mesmo autor, detalha que os principais tipos de patologias são:

- Fendilhamento das lajes de concreto: resulta da repetida aplicação de esforços de tração induzidos nas lajes de betão (concreto) pela passagem dos rodados dos veículos pesados;
- Bobagem de finos: o corre durante a passagem dos rodados sobas juntas transversais, de retração ou nas proximidades das juntas longitudinais. Consiste no arrastamento de materiais que constituem a camada subjacente às lajes, depositando-se na laje adjacente, por ação da água;
- Degradações das juntas: é a rotura da junta transversal;
- Degradações da superfície: trata-se do desprendimento do concreto e perda dos agregados/inertes mais grossos na camada de pavimento.

Figura 14: Exemplo de Trincas (Couro de Jacaré)

Fonte: Flek (2017)

Fernandes et al (1999), dividem em dois grupos as causas de deterioração dos pavimentos: – solicitações do tráfego, principalmente por características dos veículos que trafegam pela mesma, como quantidade de eixos, entre outros e solicitações climáticas: principalmente variações de temperatura e de teor de umidade.

Ainda neste sentido, Reis (2009) destaca que os defeitos que atingem o pavimento flexível estão ligados a deterioração dos materiais que o constituem. As causas que ocasionam esses problemas, estão geralmente relacionadas à má execução do pavimento, ação intensa dos veículos e projetos inadequados. A ação

do tráfego altera as propriedades dos materiais que constituem o pavimento, o que faz com que uma ação que se repita por mais de uma vez provoque deslocamentos no pavimento.

Já nos pavimentos rígidos, o autor salienta que:

> "(...) defeitos mais comuns nos pavimentos rígidos estão normalmente associados à utilização de técnicas de construção e materiais inadequados, aliados a uma ausência de manutenção regular, que é necessário assegurar neste tipo de estrutura. A frequência de aparecimento dos defeitos e o seu grau de desenvolvimento, tendem a agravar-se com o decorrer do tempo. Nos pavimentos rígidos é bem mais frequente a ocorrência de defeitos localizados associados a causas específicas, como a degradação uniforme de toda a laje de betão (concreto) construída, devidas deficiência de projeto ou devidas ao processo de fadiga do betão (concreto) nas proximidades do final da vida útil do pavimento." (REIS, 2009, p. 28-29)

O autor enfatiza na fala acima, que uma das principais causas de patologias em pavimentos rígidos é a utilização de materiais inadequados. Portanto, a verificação do controle de qualidade dos materiais e técnicas utilizadas contribui de forma expressiva para a redução na quantidade de patologias em um pavimento.

Outra observação importante sobre pavimentos rígidos é feita por Oliveira (2000). O autor enfatiza que, as placas de concreto estão sujeitas a grandes variações de umidade e de temperatura, por possuírem uma grande área exposta ao ar. Deve-se, portanto, procurar um concreto que sofra a menor retração possível, e que tenha resistência suficiente para absorver os esforços impostos por estas condições. No caso do pavimento de concreto simples, os esforços de tração devem ser resistidos apenas pelo concreto.

Em seu estudo sobre patologia em pavimentos intertravados, De Andrade et al (2019) constata que as anomalias identificadas nas observações, se apresentaram em diferentes momentos do processo produtivo, umas, logo após a fabricação e outras após o assentamento, são elas: fissuras, bolhas, ninhos ou vazios, eflorescência, afundamento do pavimento, rejuntamento desgastado, contenção quebrada ou malfeita. As Figuras a seguir mostram diversas patologias.

Figura 15 – Patologias em Pisos Intertravados

Fonte: De Andrade (2019)

Figura 16 – Patologias em Pisos Intertravados (2)

Fonte: De Andrade (2019)

Percebe-se pelas fotos, que houve falhas na fabricação (Figura 15), possui bolhas e falhas no processo de assentamento do piso (Figura 16), demonstrado pela espessura da caneta em comparação com a fenda do piso, o que valida o trecho enfatizado pelo autor anteriormente. Como pode se notar, o processo de produção é de extrema importância para o sucesso, seja em relação a custos ou durabilidade de um material. Neste sentido, este estudo irá verificar a adequação de amostras de pavimento intertravado, na região metropolitana de Belo Horizonte, região esta que será um pouco detalhada no tópico a seguir.

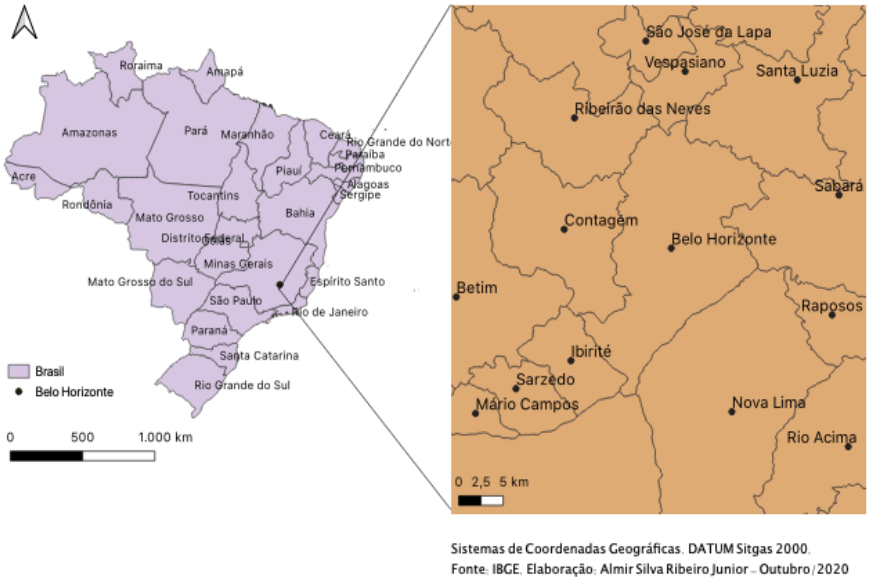
Figura 17 – Patologias em Pisos Intertravados (3)

Fonte: De Andrade (2019)

2.4 Região de Estudo

A região Metropolitana de Belo Horizonte (MG) foi escolhida para este estudo, tendo em vista a sua importância no cenário estadual e nacional conforme mostrado no Mapa 1.

Mapa 1: Área de Estudo do TCC



Fonte: Autoria Própria

Participa com 40% do PIB dos estados de Minas Gerais, possui ligações com as principais Rodovias do país como, BR-381, BR-040, BR-262, ligando a estados como Distrito Federal, São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo. Outro ponto importante é que grande parte da produção industrial e agrícola do estado é escoada até os portos para exportação e para outros estados via rodovias, o que enfatiza ainda mais a importância do estudo.

Segundo dados do site RMBH (2020), a Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH foi instituída em 1973 pela Lei Complementar nº 14, que criou também as regiões metropolitanas de São Paulo, Porto Alegre, Recife, Salvador, Curitiba, Belém e Fortaleza. A RMBH era originalmente composta por 14 municípios: Belo Horizonte, Betim, Caeté, Contagem, Ibirité, Lagoa Santa, Nova Lima, Pedro Leopoldo, Raposos, Ribeirão das Neves, Rio Acima, Sabará, Santa Luzia e Vespasiano.

Com o passar do tempo, novos munícipios foram sendo incorporados e hoje a Região Metropolitana de Belo Horizonte é composta por 34 municípios e mais 14 do chamado colar metropolitano. A principal cidade da RMBH é a cidade de Belo Horizonte (MG), a capital do Estado de Minas Gerais. Segundo dados do IBGE (2020), possui uma população estimada para 2020 em 2.521.564 habitantes em uma área de 331,354 km², com uma densidade demo gráfica de 7.167,00 hab./km².

Em relação ao transporte, a cidade possui um total de 2.075.823 veículos, sendo 1.721.052 entre automóveis, caminhonetes e camionetas; e 246.553 motocicletas e motonetas. Se for considerado apenas os veículos citados acima, a capital mineira possui 0,78 veículos por habitantes. Em 2018, o salário médio mensal era de 3.6 salários mínimos. A proporção de pessoas ocupadas em relação à população total era de 58.2%. Possui a terceira maior economia do país, ficando atrás somente de Saulo Paulo (SP) e Rio de Janeiro (RJ).

O PIB de Belo Horizonte é basicamente composto de comercio e serviços (85%) segundo dados do CDL/BH (2020). Possui também aptidão turística, sendo considerada a capital dos bares, além do conjunto arquitetônico da Pampulha e Serra do Curral. Apesar de ser a cidade mais importante do Estado de Minas Gerais, o estudo não se limitará a Belo Horizonte, pois muitas das empresas, por questões de custos e logística, estão com suas fábricas localizadas em cidades da região Metropolitana de Belo Horizonte.

Não há dados disponíveis sobre a quantidade empresas de pavimentos intertravados na Região Metropolitana de Belo Horizonte. O estudo, no entanto, se ateve apenas em empresas que se localizam nas cidades mais próximas a Belo Horizonte por questões logísticas. O tópico de Métodos e Técnicas de Pesquisa irá detalhar melhor os critérios utilizados para quantidade de amostras e empresas escolhidas.

3 MÉTODOS E TÉCNICAS

O presente estudo foi realizado pelo método experimental que segundo GIL (2008, apud Prodanov e De Freitas, 2013), consiste, especialmente, em submeter os objetos em estudo à influencia de certas variáveis, em condições controladas e conhecidas pelo investigador, para observar os resultados que a variável produz objeto.

Os recursos necessários para a realizado do estudo se resumem em amostras que foram adquiridas de empresas da Região Metropolitana de Belo Horizonte (MG). Além disso, os equipamentos para realização dos testes estão disponíveis no laboratório de Materiais de Construção do DET/CEFET-MG, como estufas, prensas entre outros. O único ensaio da NBR-9781/2013 que não será realizado, será o de Resistência a Abrasão, devido a falta do equipamento adequado no laboratório.

Foi utilizada como base para o estudo a NBR 9781/2013. Os ensaios feitos foram: Inspeção Visual, Avaliação Dimensional, Absorção de Água, Resistência à Compressão. Por motivos de ordem técnicas e indisponibilidade de equipamentos no laboratório de Mecânica de Materiais do DET CEFET-MG, não foi efetuado o ensaio de resistência a abrasão. As amostras seguirão os padrões da Tabela 1:

Tabela 1: Amostragem para Ensaio

Propriedade	Amostra
Inspeção Visual	6[a]
Avaliação Dimensional	6[a]
Absorção de Água	3
Resistência à Compressão	6
Resistência à Abrasão	3[b]

a => As peças podem ser usadas também para ensaios de resistência à compressão ou abrasão.
b => Ensaio facultativo

Fonte: NBR-9781/2013

Como visto na Tabela 1, são necessários um total de 9 corpos de provas, para a realização dos testes. Seis amostras para os testes de Inspeção Visual, Avaliação Dimensional, e Resistência a Compressão e três amostras para Absorção de Água. Foram adquiridas 10 amostras, sendo uma de reserva, caso houvesse algum

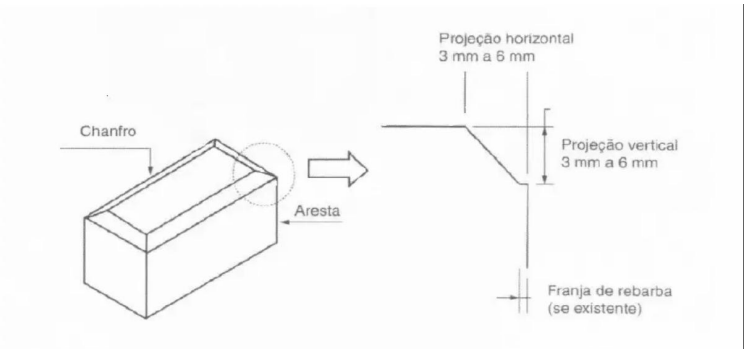
imprevisto, de 5 empresas da Região Metropolitana de Belo Horizonte (MG), totalizando 50 peças. Por questões de ordem técnica e devido a restrições da Pandemia do COVID-19, as amostras foram adquiridas (compradas) apenas de cidades mais próximas de Belo Horizonte, como Betim e Contagem. Os testes foram separados por empresas, que por questões de sigilo, serão denominadas como: Empresa A, Empresa B, Empresa C, Empresa D e Empresa E.

3.1 Inspeção Visual

A NBR-9781/2013 estabelece que a inspeção visual deve averiguar se há defeitos aparentes nas peças que possam danificar o assentamento, o desempenho estrutural ou a estética do pavimento. Além disso, as peças devem apresentar aspecto homogêneo, arestas regulares e ângulos retos e devem ser livres de rebarbas, defeitos, delaminação e descamação. Pequenas variações de coloração nas peças em virtude do processo de fabricação e da variação das matérias primas são admitidas. O padrão de cor dos lotes deve ser acordado previamente entre o fornecedor e o cliente.

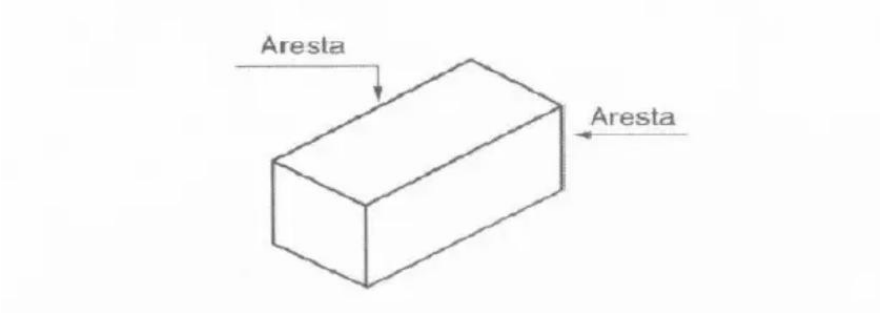
O item 5.3 da NBR-9781/2013 especifica algumas caraterísticas importantes a serem verificadas como: espaçador de juntas, chanfros, arestas e ângulo de inclinação. As figuras 18, 19 e 20, ilustram estas características.

Figura 18: Chanfro de uma peça de concreto



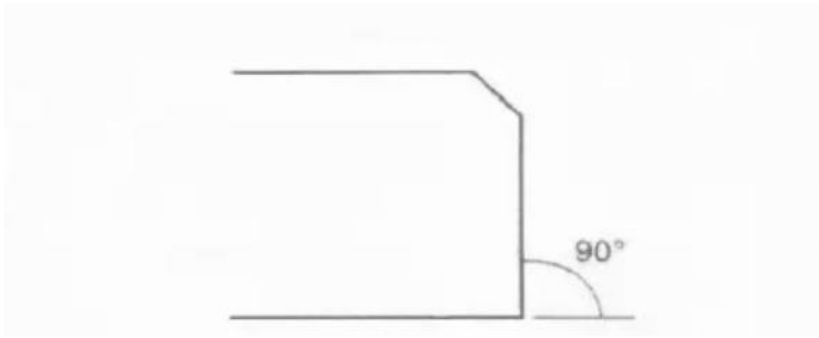
Fonte: NBR-9781/2013

Figura 19: Aspecto das arestas de uma peça de concreto



Fonte: NBR-9781/2013

Figura 20: Detalhe do ângulo de Inclinação da peça de Concreto



Fonte: NBR-9781/2013

Desta forma, as peças foram avaliadas de acordo com os critérios citados acima. As Fotografias 1 e 2 ilustram as peças da empresa A, numeradas de A1 a A10. Pela avaliação visual, percebe-se que são peças possuem um acabamento bem feito, são homogêneas, tanto chanfro quanto a inclinação atendem os padrões da norma.

Fotografia 1: Amostras - Empresa A

Fonte: Autoria Própria

Fotografia 2: Detalhe da Peça - Empresa A

Fonte: Autoria Própria

Fotografia 3: Amostras - Empresa B

Fonte: Autoria Própria

Fotografia 4: Detalhe da Peça - Empresa B

Fonte: Autoria Própria

As peças da empresa B, conforme demonstram as Fotografias 3 e 4, seguem a mesma linha da anterior. A amostras, apesar de sujas, apresentam uniformidade, chanfro e inclinação dentro dos padrões.

Fotografia 5: Amostras – Empresa C

Fonte: Autoria Própria

Fotografia 6: Detalhe da Peça - Empresa C

Fonte: Autoria Própria

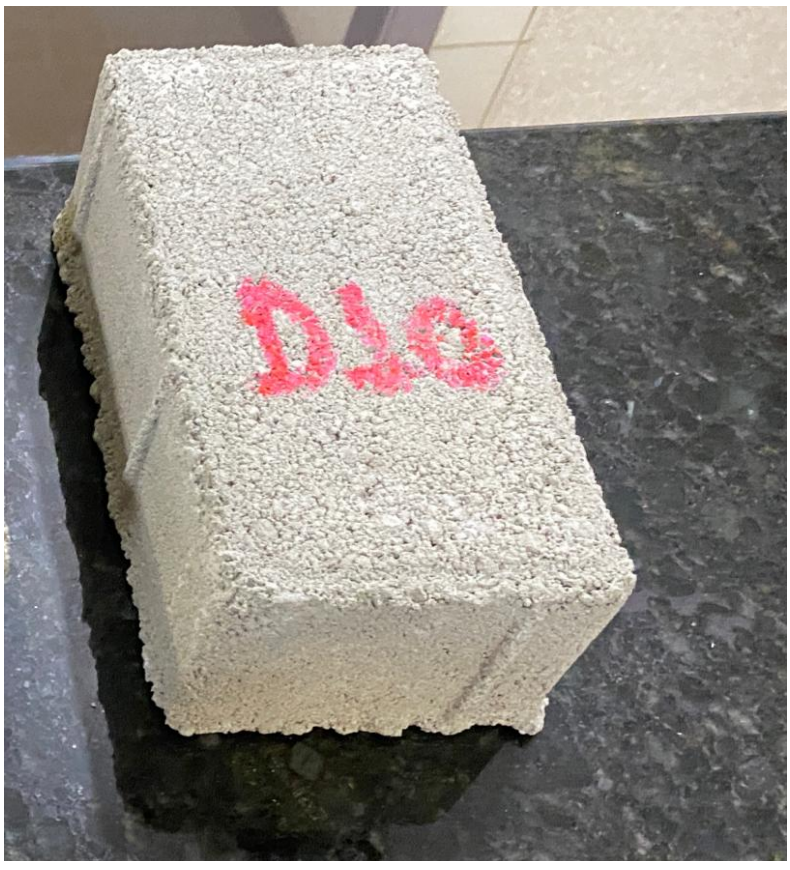
Amostras da Empresa C são homogêneas, sem rebarbas, possuem chanfro e inclinação condizentes com a norma, como demonstram as Fotografias 5 e 6.

Já as amostras da Empresa D, possuem varias rebarbas em uma das faces, o que pode prejudicar o assentamento das peças. Além disso, possui uma espessura maior que as outras amostras e certa irregularidade em suas faces. As amostras podem ser observadas nas Fotografias 7 e 8.

Fotografia 7: Amostras – Empresa D

Fonte: Autoria Própria

Fotografia 8: Detalhe da Peça - Empresa C



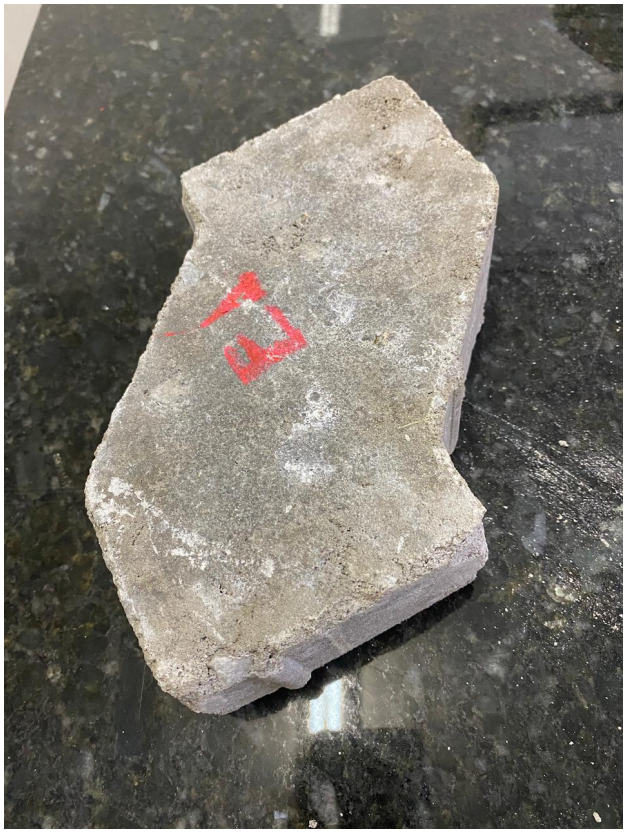
Fonte: Autoria Própria

As peças da empresa E, conforme ilustradas nas Fotografias 9 e 10, apesar de manchadas, possuem certa homogeneidade. Não possui chanfro e a inclinação é de 90 graus. As arestas poderiam ser mais bem trabalhadas, mas o transporte das peças pode ter influenciado para este desgaste.

Fotografia 9: Amostras – Empresa E

Fonte: Autoria Própria

Fotografia 10: Detalhe da Peça - Empresa C



Fonte: Autoria Própria

3.2 Avaliação Dimensional

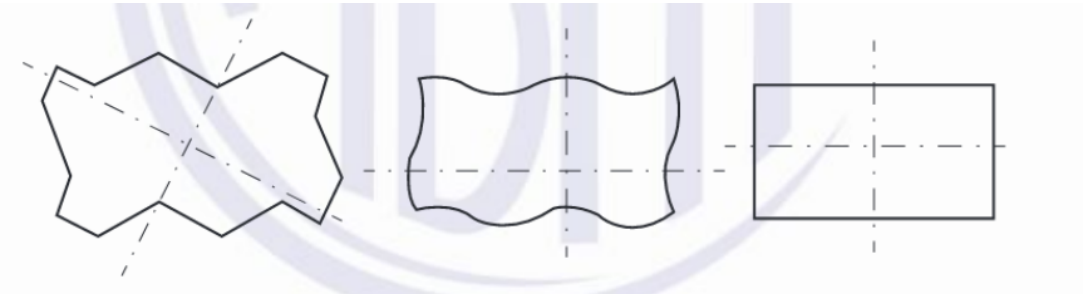
A avaliação dimensional deve seguir as especificações abaixo descritos na NBR-9781/2013.

As dimensões e peças de concreto devem atender aos seguintes requisitos:

a) Medida nominal do comprimento de no máximo 250mm;
b) Medida real da largura de no mínimo 97 mm na área da peça destinada à aplicação ode carga no ensaio de resistência a compressão;
c) Medida nominal da espessura de no mínimo 60 mm, especificada em múltiplos de 20 mm;
d) Tolerâncias dimensionais de +/- 3 mm para largura, comprimento e espessura;
e) Índice de Forma (IF) para peças de concreto utilizadas em vias com tráfego de veículos ou áreas de armazenamento devem ser menores ou iguais a 4.

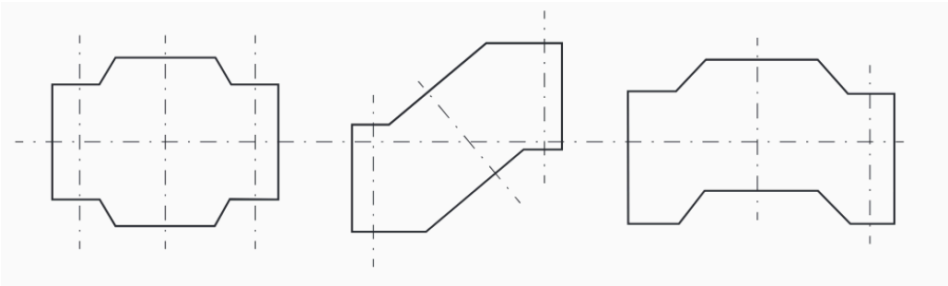
As figuras 21 a 24 demonstram 4 tipos de geometria de pavimentos e os pontos em que devem ser realizadas as medições.

Figura 21: Peças de Concreto Tipo 1



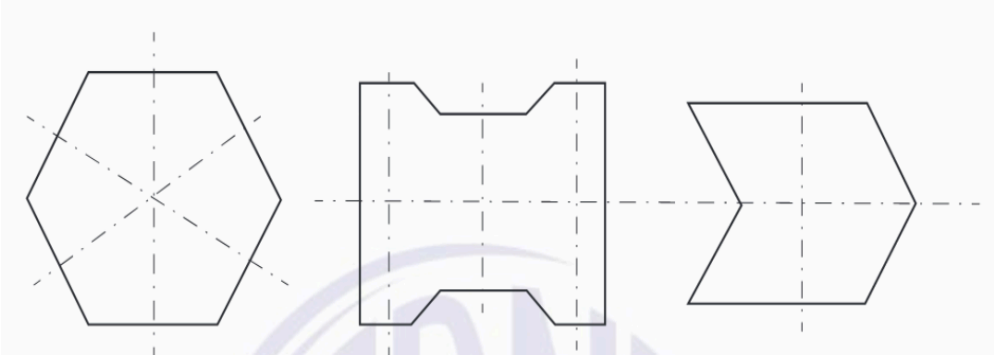
Fonte: NBR-9781/2013

Figura 22: Peças de Concreto Tipo 2



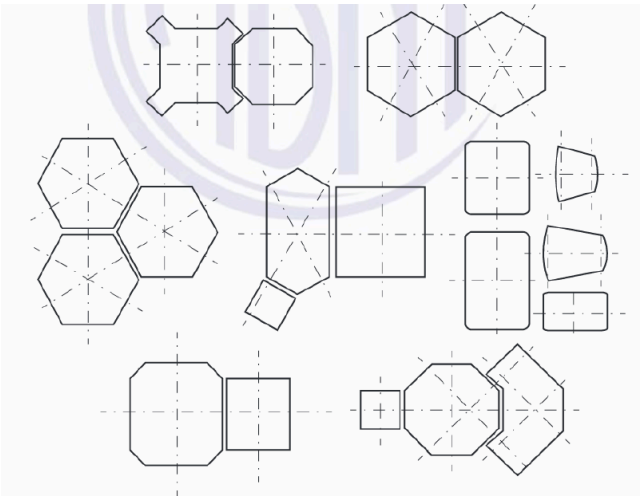
Fonte: NBR-9781/2013

Figura 23: Peças de Concreto Tipo 3



Fonte: NBR-9781/2013

Figura 24: Peças de Concreto Tipo 4



Fonte: NBR-9781/2013

Para a realização deste ensaio, foi utilizado um paquímetro, lápis para marcações nas peças um esquadro para delimitação dos ângulos. Este ensaio foi realizado no laboratório de Mecânica dos Solos do DET Cefet – MG. Apesar da norma indicar que esta análise deve ser feita com 6 corpos de prova (CP), foram utilizados todos os dez disponíveis. A Fotografia 11 ilustra o paquímetro utilizado nas medições. As medidas detalhadas estarão descritas no capítulo Resultados e Discussão.

Fotografia 11: Paquímetro

Fonte: Autoria Própria

3.3 Absorção de Água

A absorção de água, expressa em porcentagem, representa o incremento de massa de um corpo sólido poroso devido a penetração de água em seus poros permeáveis em relação à sua massa em estado seco (NBR-9781/2013).

O ensaio de absorção de Água deve ser realizado da seguinte forma:

a) Imergir os corpos de prova em água a temperatura de (23,5 +/- 5 °C) por 24h.
b) Pesar individualmente cada corpo de prova na condição saturada com superfície seca, que é obtida drenando o corpo de prova sobre uma tela metálica por 1 min e removendo a água superficial visível com um pano úmido. Anotar o valor obtido.
c) Repetir o procedimento acima a cada 2 h, até que em duas determinações não se registre para o corpo de prova diferença de

massa superior a 0,5% em relação ao valor anterior. Anotar então a massa saturada m_2.

d) Levar os corpos saturados à estufa com temperatura a (110 +/- 5 °C) mantendo esta condição por 24h. Pesar cada corpo de prova na condição seco em estufa. Anotar os valores encontrados.

e) Repetir o procedimento acima a cada 2 h, até que em duas determinações não se registre para o corpo de prova diferença de massa superior a 0,5% em relação ao valor anterior. Anotar então a massa seca m_1. A operação de pesagem e anotação do valor deve ser de no máximo 10 min, com o corpo de prova fora da temperatura da estufa.

O valor da absorção de água é obtido através da formula abaixo:

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} * 100$$

Onde:

A	é a absorção de cada corpo de prova, expressa em porcentagem(%)
m_1	é a massa do corpo de prova seco, expressa em gramas (g);
m_2	é a massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g).

A amostra de peças de concreto deve apresentar absorção de água com valor médio igual ou inferior a 6%, não sendo admitido nenhum valor individual superior a 7%. Desta forma, o ensaio foi feito com as peças numeradas de 1 a 3 de cada empresa.

Fotografia 12: Ensaio Absorção de Água – CPs Submersos

Fonte: Autoria Própria

Fotografia 13: Ensaio Absorção de Água – Termômetro

Fonte: Autoria Própria

As peças foram submersas em água, que estava em temperatura ambiente, conforme Fotografia 12, durante 24horas. Em seguida, os corpos de prova foram deixados em uma peneira por 60 segundos, como objetivo de drenar a água excedente, e foram pesados em balança conforme Fotografia 14.

Fotografia 14 - Ensaio Absorção de Água – Drenagem de Água

Fonte: Autoria Própria

Fotografia 15: Ensaio Absorção de Água – Pesagem CPs

Fonte: Autoria Própria

Após a primeira pesagem, estes foram reintroduzidos na água e o procedimento foi repetido após 2 horas. Como a diferença entre as massas foi inferior a 0,5%, não foi necessário executar uma terceira pesagem. Em seguida, os corpos de prova foram colocados numa estufa a 110 °C por 24 horas, conforme Fotografia 15. Decorrido este tempo, eles foram retirados, pesados e reintroduzidos na estufa por 2 horas. Como a variação percentual de massa foi inferior a 0,5%, não houve necessidade de repetição do procedimento.

Fotografia 16: Ensaio Absorção de Água – Estufa de secagem

Fonte: Autoria Própria

3.4 Resistência à Compressão

No ensaio de resistência característica à compressão, executou-se os seguintes procedimentos, conforme NBR-9781/2013. Utilizou-se 6 corpos de prova de cada Empresa. Estes foram submergidos em água potável por 24 horas a temperatura ambiente, conforme Fotografia 17. Os CPs ficaram imersos na água até o momento do rompimento.

Fotografia 17: Ensaio Resistência à Compressão

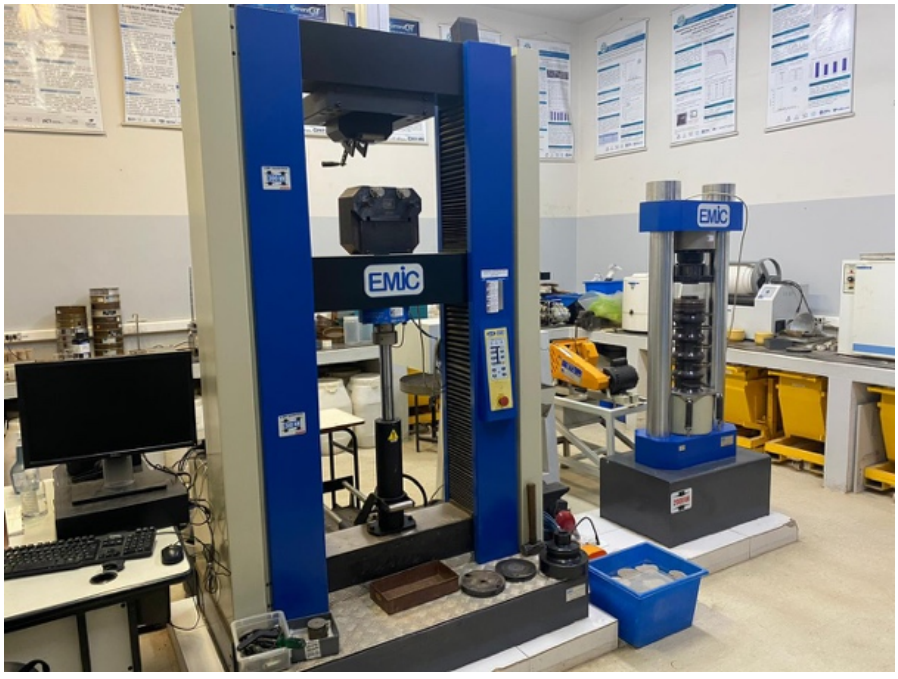
Fonte: Autoria Própria

Posteriormente os corpos de prova foram inseridos individualmente para aplicação de carga, a uma taxa de 550 kPa/s até o rompimento. Foi utilizada uma folha de papelão, simulando a superfície retificada para que houvesse alinhamento dos seus eixos verticais. Os pratos contem uma superfície de 90mm de diâmetro cada, sendo que o inferior é fixo e o superior, articulado para evitar deformação no momento da realização da compressão. Os valores de força máxima estão descritos no relatório emitido pelo equipamento, no Apêndice A. A fotografia 18, ilustra o ensaio.

Fotografia 18: Ensaio de Resistência à Compressão (2)

Fonte: Autoria Própria

Fotografia 19: Equipamento para Rompimento de Corpos de Prova



Fonte: Autoria Própria

Apesar do equipamento já emitir o relatório com a força máxima e o calculo da resistência a compressão, estes cálculos foram feitos manualmente com base nas fórmulas descritas na NBR-9781, utilizando o Planilha do software Excel. Com os valores de força máxima aplicada na ruptura, a resistência à compressão de peça,

expressa em MPa, foi obtida dividindo-se a carga de ruptura, expressa em Newtons (N), pela área do carregamento, expressa em milímetros quadrados (mm^2), multiplicando-se o resultado pelo fator *p*, em função da altura das peças, conforme tabela 2. Como todos os CPs são de 60mm, o fator de multiplicação utilizado foi 0,95.

Tabela 2: Fator multiplicativo *p*

Espessura Nominal da Peça (mm)	*p*
60	0,95
80	1,00
100	1,05

Fonte: NBR-9781/2013

Posteriormente, foi efetuado o cálculo da resistência característica a compressão estimada, com base na equação abaixo e tabela de distribuição normal.

$$f_{pk,\,est} = f_p - t \times s$$

sendo

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f_p - f_{pi})^2}{n-1}}$$

onde

f_p	é a resistência média das peças, expressa em megapascals (MPa);
f_{pi}	é a resistência individual das peças, expressa em megapascals (MPa);
$f_{pk,est}$	é a resistência característica estimada à compressão, expressa em megapascals (MPa);
n	é o número de peças da amostra;
s	é o desvio-padrão da amostra, expresso em megapascals (MPa);
t	é o coeficiente de Student, fornecido na Tabela 3, em função do tamanho da amostra.

Fonte: NBR-9781/2013

O coeficiente de Student é obtido pela tabela 3, de acordo com o tamanho da amostra. Foi utilizado n = 0,92, pois a amostra do teste de compressão é constituída seis unidades de cada empresa.

Tabela 3: Coeficiente de Student	
n	**t**
6	0,920
7	0,906
8	0,896
9	0,889
10	0,883
12	0,876
14	0,870
16	0,866
18	0,863
20	0,861
22	0,859
24	0,858
26	0,856
28	0,855
30	0,854
32	0,842

Fonte: NBR-9781/2013

Os resultados obtidos foram comparados com os parâmetros dados na NBR-9781, cujos valores estão expostos na tabela 4:

Tabela 4: Resistência Característica a Compressão	
Tráfego de pedestres, veículos leves, e veículos comerciais	≥ 35
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	≥ 50

Fonte: NBR-9781/2013

Como não foi possível a identificação da idade das amostras, o presente estudo considerou que todas as amostras possuem menos de 28 dias. Desta forma admitiu-se que os valores mínimos admitidos foram 80% dos valores de referência, como recomenda a norma.

Por fim, todos os resultados serão apresentados e debatidos no próximo capítulo, Resultados e Discussões.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise Dimensional

A primeira análise realizada foi a Avaliação Dimensional das peças. Foram utilizados 10 corpos de prova (CP) para cada uma das empresas, todos devidamente identificados a Tabela 5 mostra os resultados para a empresa A, que comercializa pavimentos do Tipo I, conforme mostrado no Capítulo Métodos.

As medidas de comprimento (c), e largura (l), estão dentro do padrão da NBR-9781/2013. No entanto, as espessuras de seis CP estão fora do padrão estabelecido pois excedem a variação máxima de +/- 3mm estabelecidos na norma. A coluna (60 – e) indica que os itens em negrito estão fora do padrão. O Índice de Forma (IF) também está forma do padrão para todos os CP, pois excede o máximo de 4,00 para a relação entre comprimento e largura.

Tabela 5 - Análise Dimensional - Empresa A (Tipo I) (mm)

Corpo de Prova	*c*	*l*	*e*	*60 - e*	*IF*
CP 1	247,7	108,6	56,6	***3,40***	***4,38***
CP 2	246,1	107,2	57,7	2,30	***4,27***
CP 3	245,4	107,4	55,1	***4,90***	***4,45***
CP 4	247,2	107,8	55,1	***4,90***	***4,49***
CP 5	245,0	108,1	55,0	***5,00***	***4,45***
CP 6	245,2	107,8	57,1	2,90	***4,29***
CP 7	247,2	111,0	54,7	***5,30***	***4,52***
CP 8	243,9	107,5	54,3	***5,70***	***4,49***
CP 9	244,9	111,0	57,0	3,00	***4,30***
CP 10	243,0	108,1	57,2	2,80	***4,25***

Fonte: Autoria Própria

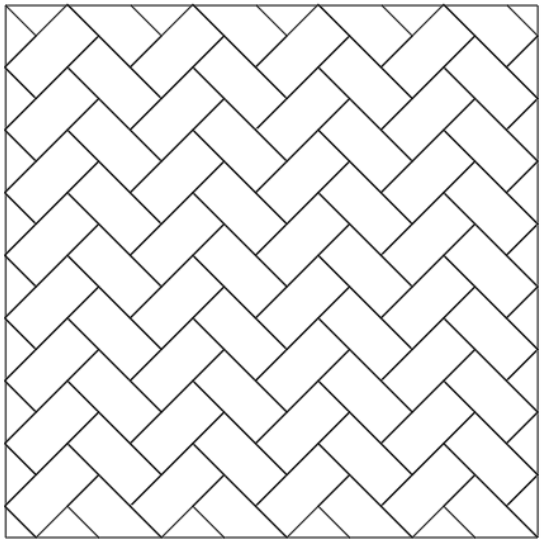
Já a empresa B, que possui os CP com o mesmo desenho da empresa A, apresenta suas dimensões dentro do padrão estabelecido, conforme pode-se averiguar na Tabela 6. Apenas o IF que está desenquadrado para nove, dos dez CP. Apesar disso, percebe-se que os valores se aproximam muito o IF máximo admitido pela NBR-9781/2013.

Tabela 6- Análise Dimensional - Empresa B (Tipo I) (mm)					
Corpo de Prova	*c*	*l*	*e*	*60 - e*	*IF*
CP 1	243,2	106,8	59,1	0,90	***4,12***
CP 2	243,5	107,0	59,7	0,30	***4,08***
CP 3	243,6	106,8	59,0	1,00	***4,13***
CP 4	244,0	106,5	59,1	0,90	***4,13***
CP 5	244,7	106,3	58,4	1,60	***4,19***
CP 6	244,0	106,1	59,6	0,40	***4,09***
CP 7	243,7	107,1	57,3	2,70	***4,25***
CP 8	243,4	106,9	61,1	-1,10	3,98
CP 9	243,9	107,3	58,3	1,70	**4,18**
CP 10	243,6	106,3	59,3	0,70	**4,11**

Fonte: Autoria Própria

A empresa C, possui cujos corpos de prova que apresentam todos as dimensões condizentes com a NBR-9781/2013. Nestes tipos de pavimentos, Tipo I – Retangular, a norma salienta que, se a relação “c/l” for igual a 2, podem ser assentadas em fileiras ou de em espinha de peixe, conforme mostrado na Figura 25. Esta relação para os pavimentos da Empresa C é bem próximo ao citado na norma.

Figura 25: Assentamento Piso Espinha de Peixe



Fonte: Site Alarquitetas (2021)

Tabela 7 - Análise Dimensional - Empresa C - (Tipo I - Retangular) (mm)						
Corpo de Prova	*c*	*l*	*e*	*60 - e*	*c/l*	*IF*
CP 1	198,1	98,1	61,0	-1,0	2,02	3,25
CP 2	198,0	98,0	60,2	-0,2	2,02	3,29
CP 3	199,1	98,4	59,9	0,1	2,02	3,32
CP 4	198,6	98,5	61,0	-1,0	2,02	3,26
CP 5	197,5	99,1	60,5	-0,5	1,99	3,26
CP 6	197,2	98,8	61,2	-1,2	2,00	3,22
CP 7	198,1	97,5	60,1	-0,1	2,03	3,30
CP 8	198,9	97,6	60,7	-0,7	2,04	3,28
CP 9	197,7	98,2	60,6	-0,6	2,01	3,26
CP 10	197,5	98,0	61,3	-1,3	2,02	3,22

Fonte: Autoria Própria

Os pavimentos da Empresa D, conforme Tabela 8, apresentaram comprimento, largura e IF dentro dos parâmetros exigidos pela NBR-9781/2013. Além disso, a relação c/l é aproximadamente igual a 2 para todos os CPs. A única medida forma dos parâmetros da norma é a espessura. Todos os CPs excedem o máximo admitido que é +/- 3 mm.

Tabela 8 - Análise Dimensional - Empresa D - (Tipo I - Retangular) (mm)						
Corpo de Prova	*c*	*l*	*e*	*60 - e*	*c/l*	*IF*
CP 1	201,0	100,6	69,4	***-9,4***	2,00	2,90
CP 2	201,3	101,1	66,2	***-6,2***	1,99	3,04
CP 3	201,1	101,2	63,1	***-3,1***	1,99	3,19
CP 4	200,7	101,0	66,7	***-6,7***	1,99	3,01
CP 5	201,2	101,3	65,3	***-5,3***	1,99	3,08
CP 6	200,8	100,4	67,0	***-7,0***	2,00	3,00
CP 7	200,7	100,6	66,0	***-6,0***	2,00	3,04
CP 8	201,3	101,0	67,4	***-7,4***	1,99	2,99
CP 9	203,5	101,6	66,1	***-6,1***	2,00	3,08
CP 10	201,1	100,6	65,2	***-5,2***	2,00	3,08

Fonte: Autoria Própria

A Empresa E, apresenta todas as dimensões dentro do recomendado na norma. O IF também está dentro dos parâmetros. Um fato a se destacar, é que as peças com o formato tipo 2, devem ser medidas em 3 larguras diferentes. Na largura 2, do meio das peças, percebe-se que possui em geral valor superior a l1 e l3. A norma

não exige que os 3 valores sejam iguais, mas seria ideal que estas medidas fossem mais próximas por questões de padronização.

Tabela 9 - Análise Dimensional - Empresa E - (Tipo II)

Corpo de Prova	*c*	l_1	l_2	l_3	*e*	*60 - e*	*IF*
CP 1	175,0	100,8	105,1	101,2	60,3	-0,3	2,90
CP 2	174,8	100,1	104,8	100,3	59,6	0,4	2,93
CP 3	175,4	100,7	103,8	99,8	58,8	1,2	2,98
CP 4	174,2	100,1	102,5	100,5	59,0	1,0	2,95
CP 5	173,8	99,6	102,2	100,4	60,5	-0,5	2,87
CP 6	175,6	100,5	103,2	102,3	58,7	1,3	2,56
CP 7	174,3	100,2	104,0	100,4	59,2	0,8	2,52
CP 8	174,7	100,3	103,1	99,3	59,1	0,9	2,53
CP 9	174,0	100,8	102,7	100,5	59,9	0,1	2,49
CP 10	175,1	100,0	103,2	99,7	59,7	0,3	2,51

Fonte: Autoria Própria

4.2 Ensaio de Absorção

O ensaio de absorção foi feito com 3 corpos de prova (CP1, CP2 E CP3), conforme detalhado no Capítulo Métodos. Os resultados desta etapa estão na Tabela 10, P1 e P2 para as pesagens com os corpos de prova saturados e P3 e P4 para pesagem após as 24 horas na estufa.

O resultado Final, demonstra que os corpos de prova absorveram mais água do que o permitido pela NBR-9781/2013, que admite uma média de 6% sendo que nenhum CP pode ter mais de 7% de absorção.

Tabela 10 - Ensaio de Absorção - Empresa A – (massa em kg)

	CP Saturado			CP após Secagem			Resultado Final
	P1	P2	∆%	P3	P4	∆ %	(P2-P4)/P4
CP 1	3,060	3,060	0,00%	2,814	2,802	-0,43%	***9,21%***
CP 2	3,052	3,054	0,07%	2,852	2,838	-0,49%	***7,61%***
CP 3	3,010	3,010	0,00%	2,840	2,832	-0,28%	6,29%
Média	3,041	3,041	0,02%	2,835	2,824	-0,40%	***7,70%***

Fonte: Autoria Própria

Nos corpos de prova da Empresa B foi realizado procedimento conforme especificado na empresa A. O resultado demonstra que todos os CPs absorveram mais água que a norma permite.

Tabela 11 - Ensaio de Absorção - Empresa B

	CP Saturado			CP após Secagem			Resultado Final
	P1	P2	Δ %	P3	P4	Δ %	(P2-P4)/P4
CP 1	2,912	2,912	0,00%	2,642	2,632	-0,38%	***10,64%***
CP 2	2,888	2,888	0,00%	2,610	2,598	-0,46%	***11,16%***
CP 3	2,534	2,536	0,08%	2,192	2,182	-0,46%	***16,22%***
MEDIA	2,778	2,779	0,000	2,481	2,471	-0,43%	***12,67%***

Fonte: Autoria Própria

O resultado do teste realizado para a empresa C, demonstra que todos os CPs estão dentro dos parâmetros permitidos pela norma. É de se observar que os valores são bem abaixo dos valores padrões da norma e um desvio padrão de 0,0035, o que demonstra padronização das peças. Os valores estão detalhados na Tabela 12.

Tabela 12- Ensaio de Absorção - Empresa C

	CP Saturado			CP após Secagem			Resultado Final
	P1	P2	Δ %	P3	P4	Δ %	(P2-P4)/P4
CP 1	2,592	2,594	0,08%	2,498	2,494	-0,16%	4,01%
CP 2	2,566	2,568	0,08%	2,504	2,486	-0,72%	3,30%
CP 3	2,514	2,516	0,08%	2,426	2,426	0,00%	3,71%
Média	2,557	2,559	0,08%	2,476	2,469	-0,29%	3,67%

Fonte: Autoria Própria

A tabela 13 mostra os valores encontrados para a analise da Empresa D. Apesar da média está dentro do aceitável, um dos CPs apresentou absorção superior a admitida. Como os outros dois estão com a absorção bem próxima, pode ser defeito de fabricação do CPs fora do padrão ou uma falha na padronização da fabricação.

Tabela 13 - Ensaio de Absorção - Empresa D

	CP Saturado			CP após Secagem			Resultado Final
	P1	P2	Δ %	P3	P4	Δ %	(P2-P4)/P4
CP 1	2,828	2,830	0,07%	2,628	2,628	0,00%	***7,69%***
CP 2	2,908	2,908	0,00%	2,796	2,794	-0,07%	4,08%
CP 3	2,806	2,806	0,00%	2,682	2,680	-0,07%	4,70%
MEDIA	2,847	2,848	0,02%	2,702	2,701	-0,05%	5,49%

Fonte: Autoria Própria

Conforme dados da tabela 14, percebe-se que, para os corpos de prova da Empresa E, um dos valores está acima dos 7% admitidos. Percebe-se também que, apesar da média ser um valor aceitável, 4,67%, a uma discrepância grande entre os 3 valores de amostra, variando de absorção de 1,70% a 7,19%. Pode-se inferir que há uma falha na padronização das peças neste quesito.

Tabela 14 - Ensaio de Absorção - Empresa E

	CP Saturado			CP após Secagem			Resultado Final
	P1	P2	Δ %	P3	P4	Δ %	(P2-P4)/P4
CP 1	2,684	2,684	0,00%	2,510	2,504	-0,24%	***7,19%***
CP 2	2,666	2,668	0,08%	2,542	2,538	-0,16%	5,12%
CP 3	2,628	2,628	0,00%	2,590	2,584	-0,23%	1,70%
MEDIA	2,659	2,660	0,03%	2,547	2,542	-0,21%	4,67%

Fonte: Autoria Própria

4.3 Ensaio de Resistência Característica a Compressão

Para este ensaio foram utilizados 6 corpos de prova de cada Empresa. O procedimento está detalhado no capítulo Métodos. Os valores de força máxima aplicada estão detalhados na Tabela 15.

Tabela 15 - Ensaio de Resistencia à Compressão - Força Máxima Aplicada (KN)

Corpo de Prova	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E
CP 4	67,80	67,40	196,70	157,40	157,40
CP 5	53,30	70,10	201,80	122,80	131,00
CP 6	45,50	52,10	180,70	98,90	169,00
CP 7	54,00	58,90	180,70	75,40	250,30
CP 8	80,50	46,70	141,20	128,70	205,40
CP 9	50,90	62,40	211,10	92,60	171,20
Média	58,67	59,60	185,37	112,63	180,72
Mediana	53,65	60,65	188,70	110,85	170,10
Desvio Padrão	13,00	8,97	24,72	29,47	41,70
Mínimo	45,50	46,70	141,20	75,40	131,00
Máximo	80,50	70,10	211,10	157,40	250,30

Fonte: Autoria Própria

Com os valores de força máxima, obtém-se a resistência característica a compressão. Como os corpos de prova possuem 60 mm, foi aplicado o fator p de correção (0,95) indicado na NBR-9781. Os valores encontrados estão expressos na tabela 16. Como a resistência mínima aceita pela NBR-9781/2013 é de 35 MPa, percebe-se que nenhum dos corpos de prova atingiu este valor mínimo. A norma, no entanto, estabelece que para corpos de prova com até 28 dias de fabricação admite-se uma resistência de 80%, que é 28 MPa. Como foi citado anteriormente, não foi possível identificar o tempo das peças adquiridas para os ensaios.

Desta forma, este estudo irá considerar como se os corpos de prova estivessem menos de 28 dias. Entretanto, mesmo considerando o padrão de 28 MPa, apenas quatros (dois da empresa C e dois da Empresa E), dos trinta CPs analisados, atingiram valores superiores ao considerado como padrão.

Tabela 16 - Ensaio de Resistencia à Compressão - Tensão Máxima (MPa)

Corpo de Prova	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E
CP 4	10,12	10,06	29,37	23,50	23,50
CP 5	7,96	10,47	**30,13**	18,34	19,56
CP 6	6,79	7,78	26,98	14,77	25,24
CP 7	8,06	8,80	26,98	11,26	**37,38**
CP 8	12,02	6,97	21,09	19,22	**30,67**
CP 9	7,60	9,32	**31,52**	13,83	25,57
Média	8,76	8,90	27,68	16,82	26,99
Mediana	8,01	9,06	28,18	16,55	25,40
Desvio Padrão	1,94	1,34	3,69	4,40	6,23
Mínimo	6,79	6,97	21,09	11,26	19,56
Máximo	12,02	10,47	31,52	23,50	37,38

Fonte: Autoria Própria

A tabela 17 mostra os cálculos feitos para a resistência característica estimada a compressão, nos termos da NBR-9781. Percebe-se que apenas dois corpos de prova, em negrito atingiram resistência acima de 28 MPa.

Tabela 17 - Resistencia Característica Estimada à Compressão (MPa)

Corpo de Prova	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E
CP 4	8,40	8,84	26,37	19,65	17,81
CP 5	6,24	9,25	27,13	14,48	13,86
CP 6	5,07	6,56	23,98	10,91	19,54
CP 7	6,34	7,58	23,98	7,40	**31,68**
CP 8	10,30	5,75	18,08	15,36	24,97
CP 9	5,88	8,10	**28,52**	9,97	19,87
Média	7,04	7,68	24,68	12,96	21,29
Mediana	6,29	7,84	25,17	12,70	19,70
Desvio Padrão	1,94	1,34	3,69	4,40	6,23
Mínimo	5,07	5,75	18,08	7,40	13,86
Máximo	10,30	9,25	28,52	19,65	31,68

Fonte: Autoria Própria

Pela análise dos dados obtidos nos ensaios, percebe-se que as empresas que estão fora dos parâmetros admitidos para analise dimensional e na absorção de

água, possuem menor resistência característica a compressão. A empresa A, teve todos os seus CPs abaixo dos 60mm e também a maioria com IF acima de 4,00. No quesito absorção, todos os corpos de prova tiveram resultado acima de 6%, por consequência, a resistência característica a compressão foi a menor entre todas as empresas, de forma que não atingiu nem metade dos 28MPa mínimos admitidos.

Já a empresa B, apesar de não ter as dimensões fora dos padrões, possuía nove dos 10 CPs com IF fora das especificações e também obteve a maior absorção, 12,67%, o que relaciona diretamente com a baixa resistência a compressão. Há de se salientar que na inspeção visual, as peças possuíam um bom acabamento e padronização das peças.

A Empresa C, apresentou nos testes de Avaliação Dimensional e Absorção de Água, todos os valores dentro dos parâmetros admitidos na NBR-9781/2013. No ensaio de resistência a compressão, obteve o melhor resultado com uma média de 27,68 MPa, bem próximo dos 28 MPa admitidos pela norma. Destaca-se o índice de absorção de 3,07%, o que contribui para uma maior resistência a compressão.

A empresa D, na avaliação dimensional, teve apenas a espessura acima do admitido para todas os seus corpos de prova. Na absorção, uma das peças ultrapassou os 7% admitidos, mas a média está dentro do esperado. Por fim, na resistência a compressão obteve resultados insatisfatórios para todos os CPs. Vale ressaltar que os corpos de prova, apesar de possuir uma certa padronização, o acabamento possui muitas rebarbas, o que pode interferir no momento do assentamento das peças e na sua resistência.

A empresa E, obteve a segunda melhor performance na resistência característica a compressão, com uma média de 26,99 MPa, bem próximo do valor de referencia. Na avaliação dimensional, os valores estão dentro dos esperados. Já na absorção de água, a média de 4,67% está abaixo dos 6%, mas um dos CPs, CP1 (7,19%), ultrapassou o máximo admitido pela NBR-9781/2013. O que se observou neste ensaio é a discrepância entre os valores mínimo e máximo de absorção. Distorção essa observada também no ensaio de resistência a compressão. Tal fato pode evidenciar uma falha nos processos de fabricação prejudicando assim a padronização.

A tabela 18, sintetiza a adequação ou não em cada um dos ensaios realizados.

Tabela 18: Quadro Resumo - Adequação aos Ensaios - NBR-9781/2013

Tipo de Ensaio	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Empresa D	Empresa E
Inspeção Visual	SIM	SIM	SIM	EM PARTES	SIM
Avaliação Dimensional	NÃO	NÃO	SIM	NÃO	SIM
Absorção de Água	NÃO	NÃO	SIM	EM PARTES	EM PARTES
Resistência à Compressão	NÃO	NÃO	EM PARTES	NÃO	EM PARTES

LEGENDA: SIM (ATENDEU A NORMA);
EM PARTES (ATENDEU PARCIALMENTE A NORMA);
NÃO (NÃO ATENDEU A NORMA)

Percebe-se que a empresa C, obteve o melhor desempenho. Apesar de não atingir os 28 MPa de resistência, o valor foi muito próximo. A empresa E também teve um desempenho interessante, uma vez que, no ensaio de absorção apenas um CP ultrapassou os 7%. Já as outras três empresas tiveram desempenho bem aquém do esperado pois em vários itens não tiveram resultados satisfatórios.

5 Considerações Finais

A cerca do trabalho desenvolvido, pode-se inferir os seguintes comentários. O pavimento intertravado se mostra como alternativa com custo reduzido e alta qualidade frente aos demais tipos de pavimentos existentes, de forma a contribuir de forma econômica para a elevação nos índices de pavimentação do país. Em que pese o cenário atual vivido em todo o mundo nos anos de 2020 e 2021, o trabalho conseguiu atingir o seu objetivo geral, avaliando a qualidade de pavimentos intertravado da região metropolitana de Belo Horizonte.

Em relação à qualidade das amostras testadas, percebe-se que os resultados ficaram, em geral, aquém do que a NBR-9781, dispõe como padrões mínimos. Das cinco empresas testadas, apenas duas, o que representa 40%, se aproximaram dos requisitos exigidos, mas não atingiram desempenho satisfatório no principal teste que é a resistência à compressão. Percebeu-se também, que, mesmo as empresas que apresentaram resistência muito abaixo do esperado, comercializam seus produtos como se estivessem dentro da norma, o que pode gerar prejuízos futuros para seus clientes, desde retrabalho na reinstalação de peças a risco de acidentes.

Notou-se também que o conjunto de ensaios se mostra interligados e coesos sendo que, as empresas que apresentaram melhor desempenho, principalmente no ensaio de Absorção da Água, obtiveram maior resistência a compressão. Já empresas que apresentaram peças mais bem acabadas e polidas, demonstraram baixa resistência e alta absorção de água. Tal fato pode inferir que, o objetivo principal destas peças a utilização em ambientes em que a estética é mais importante do que resistência.

Os objetivos específicos foram cumpridos, tendo em vista que os pavimentos foram caracterizados na revisão de literatura, e foram identificadas as principais patologias dos pavimentos. Os testes também foram realizados com base em cinco empresas, que apesar de listadas, por questões de sigilo, não foram identificadas.

Vale ressaltar também que, as restrições de circulação, devido a pandemia do COVID-19, limitaram a utilização dos laboratório do CEFET-MG, e o deslocamento com os corpos de prova, reduzindo assim a abrangência do estudo, tendo em vista que muitas empresas situam suas fabricas em locais mais distantes da capital, o que

impossibilitou a coleta de informações mais precisas sobre idade das amostras, materiais utilizados na fabricação, dentre outras informações relevantes para que o estudo fosse mais completo.

Para realização de trabalhos futuros, recomenda-se que, se possível, sejam coletadas mais informações sobre os materiais estudados, utilizando uma quantidade maior de amostras. Além disso, é necessário expandir o estudo para um maior número de empresas, de forma a identificar com maior exatidão a quantidade de fornecedores na região e qualidade dos produtos comercializados. Outro fator que pode ser acrescentado é a apresentação dos resultados, individualmente para cada empresa, como forma de feedback sobre a qualidade dos produtos, visando a melhoria continua dos mesmos.

Por fim, conclui-se que, os pavimentos intertravados das empresas estudadas, em geral, não estão dentro dos parâmetros mínimos exigidos pela NBR-9781/2013. Tal fato demonstra que muitas vezes os clientes estão adquirindo produtos que não irão atender suas necessidades com risco a segurança dos veículos que trafegarem por estes pavimentos. Como alternativa, sugere-se que sejam intensificadas as fiscalizações dos órgãos responsáveis pela certificação da qualidade dos produtos, de forma a conscientizar e orientar para adequação do processo produtivo, visando obter produtos que atendam as especificações mínimas levando maior confiabilidade para seus clientes.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Marcelo Almeida; et. al. **Análise Comparativa de Métodos de Pavimentação – Pavimento Rígido (concreto) x Flexível (asfalto).** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo Do Conhecimento. Ano 01, Edição 11, Vol. 10, pp. 187-196, Novembro de 2016. ISSN: 2448-0959

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT).

_____. NBR 9781 – Peça de concreto para pavimentação – Especificação, 1987.
_____. NBR 16416 – Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos, 2015.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentos asfálticos: patologia e manutenção.** Plêiade, 1997.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração. Oficina de Textos,** 2015.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentos de concreto**. Oficina de Textos, 2016.

CARNIN, Raquel Luísa Pereira et al. **Desenvolvimento de peças de concreto (Paver) contendo areia descartada de fundição para pavimento intertravado.** Revista Pavimentação, v. 5, p. 56-67, 2010.

CNT, Confederação Nacional de Transportes. **Anuário CNT dos Transportes – 2019.** / Disponível em https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2019/. Acesso em 08/09/2020.

CRUZ, LUIZ OTÁVIO MAIA **Pavimento Intertravado de Concreto: Estudo dos Elementos e Métodos de Dimensionamento**. [Rio de Janeiro] 2003.

CUNHA, Célia Melo. **Reciclagem de pavimentos rodoviários flexíveis: diferentes tipos de reciclagem.** 2010. Tese de Doutorado.

DA SILVA, José Eudes Marinho; CARNEIRO, Luiz Antônio Vieira. **Pavimentos de concreto: histórico, tipos e modelos de fadiga.** 2014.

DELVALLE, Willy. Linha do Tempo – Estradas. **www.aventurasnahistoria.uol.com.br**., 2017. Disponível em: <https://aventurasnahistoria.uol.com.br/noticias/civilizacoes/linha-do-tempo-estradas.phtml.> Acesso em: 02/11/2020.

DERMG, História do DER - MG. **www.deermg.gov.br**., 2017. Disponível em: < http://www.deer.mg.gov.br/institucional/sobre-o-deer-mg/historia-do-deer.> Acesso em: 04/11/2020.

DNIT, Breve Histórico do Rodoviarismo Federal no Brasil. **www.dnit.gov.br**., 2020. Disponível em: http://www1.dnit.gov.br/historico/.> Acesso em: 04/11/2020.

DE PLANEJAMENTO, Diretoria; DUTRA, Rodovia Presidente**. DNIT Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos.** 2006

FAZCOMEX, Exportação no Brasil: Quais os principais produtos exportados? **www.fazcomex.com.br**., 2020. Disponível em: < https://www.fazcomex.com.br/blog/quais-principais-produtos-exportados-brasil/ > Acesso em: 15/10/2020.

FERNANDES, J. L.; ODA, S.; ZERBINI, L. F. **Defeitos e atividades de manutenção e reabilitação em pavimentos asfálticos.** São Carlos: EESC/USP, 1999.

FIORITI, Cesar Fabiano. **Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GODINHO, Dalter Pacheco. **Pavimento intertravado: uma reflexão sob a ótica da durabilidade e sustentabilidade**. 2009.

HUANG, Y.H. **Pavement Analysis and Design.** Nova Jersey, Estados Unidos da América: Prentice Hall, 2003.

ILOS, Matriz de transportes do Brasil à espera dos investimentos. **www.ilos.com.br**., 2020. Disponível em: < https://www.ilos.com.br/web/tag/matriz-de-transportes/> Acesso em: 16/10/2020.

LINK, Vanessa Morel. **Pavimentos asfálticos em corredores de ônibus: patologias e concepção de alternativas**. 2009.

LOPES, Flaviane Melo et al. **Pavimentos flexíveis com revestimento asfáltico= avaliação estrutural a partir dos parâmetros de curvatura da bacia de deformação.** 2012.

MAIA, Iva Marlene Cardoso et al. **Caracterização de patologias em pavimentos rodoviários.** 2012.

MARÉ, Florbela Lima et al. **História das infraestruturas rodoviárias.** 2011.

MEDINA, Jacques de; MOTTA, Laura Maria Goretti da. **Mecânica dos pavimentos.** Rio de Janeiro: Editora UFRJ, v. 2, 1997.

MINHOTO, Manuel. **Consideração da temperatura no comportamento à reflexão de fendas dos reforços de pavimentos rodoviários flexíveis**. 2007.

Oliveira, Cinara Souza de **Análise comparativa técnico-econômica entre os pavimentos de concreto asfáltico e blocos intertravados de concreto** / por Cinara Souza de Oliveira. – 2018

OLIVEIRA, Patrícia Lizi de. **Projeto estrutural de pavimentos rodoviários e de pisos industriais de concreto**. 2000. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA, Alexandre Lima de et al. **Contribuição para a dosagem e produção de peças de concreto para pavimentação**. 2004.

PINHEIRO, Leonardo. **Análises não-lineares de sistemas estruturais metálicos rotulados e semirrígidos.** 2003.

PINTO, S. e PREUSSLER, E. (2002) "**Pavimentação Rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis**", 2ªed., Rio de Janeiro -RJ

PRODANOV, Cleber Cristiano; DE FREITAS, Ernani Cesar. Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico-2ª Edição. Editora Feevale, 2013.

REIS, Nuno Filipe dos Santos. **Análise estrutural de pavimentos rodoviários: Aplicação a um pavimento reforçado com malha de aço.** 2009. 119 f. Dissertação (Mestrado) -Curso de Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

RMBH 2020, **http://www.rmbh.org.br/rmbh.php**. Acesso em 03/11/2020

RODRIGUES, José Luís Azevedo et al. **Concepção de pavimentos rígidos**. 2011.

RODRIGUES FILHO, Silvio et al. **Estudo econômico comparativo entre tipos de pavimentos**. 2006.

ROSSI, Amélia do Carmo Sampaio. Resenha: “Sapiens: uma breve história da humanidade”, de Yuval Noah Harari. **Revista de Direito Econômico e Socioambiental**, v. 9, n. 1, p. 427-432, 2018.

SANTANA, Humberto. **Introdução à mecânica dos pavimentos de baixo custo**. 27ª Reunião, 1993.

SENÇO, Wlastermiler. **Manual de técnicas de pavimentação.** Pini, 1997.

SILVA, Luzilene Souza et al. **Análise comparativa entre as técnicas construtivas de pavimentação empregadas no sistema Bus Rapid Transit (BRT)-Belém-PA versus Fortaleza-CE.** RCT-Revista de Ciência e Tecnologia, v. 4, n. 6, 2018.

SILVA, Mateus Justino da Silva. **Elementos de concreto para pavimentação produzidos com agregados de escória de aciaria** / Mateus Justino da Silva. – – Belo Horizonte, 2011.

SOUZA, M. L. **Pavimentação Rodoviária.** Rio de Janeiro: LTC, 1980.

VASQUÉZ, B. M. **Análisis comparativo entre un pavimento rígido y un pavimento flexible para la ruta** s/r: Santa Elvira–El Arenal, en la comuna de Valdivia. Valdivia-Chile: Universidad Austral de Chile, 2014.

APÊNDICE A – Relatórios de Ensaios

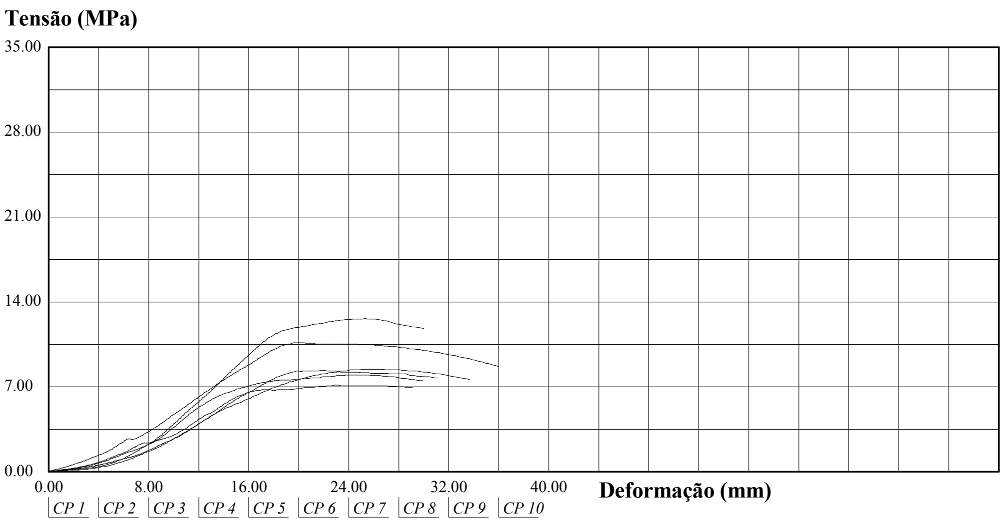
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: **-** Data: **17/03/2021** Hora: **18:42:41** Trabalho n° **1526**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **NBR 9781 Compressão intertravado**

Ident. Amostra: >> Material : **Empresa A** Idade: Operador: **Almir**

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Taxa de incremento tensão (MPa/s)	Altura (mm)	Força Máxima (kN)	Tensão Máxima (MPa)
CP 1	90.0	0.55	60.00	67.8	10.66
CP 2	90.0	0.55	60.00	53.3	8.38
CP 3	90.0	0.55	60.00	45.5	7.15
CP 4	90.0	0.55	60.00	54.0	8.49
CP 5	90.0	0.55	60.00	80.5	12.65
CP 6	90.0	0.55	60.00	50.9	8.01
Número CPs	6	6	6	6	6
Média	90.00	0.5500	60.00	58.67	9.222
Mediana	90.00	0.5500	60.00	53.64	8.432
Desv.Padrão	0.0000	0.0000	0.0000	13.00	2.044
Coef.Var.(%)	0.0000	0.0000	0.0000	22.16	22.16
Mínimo	90.00	0.5500	60.00	45.47	7.147
Máximo	90.00	0.5500	60.00	80.51	12.65



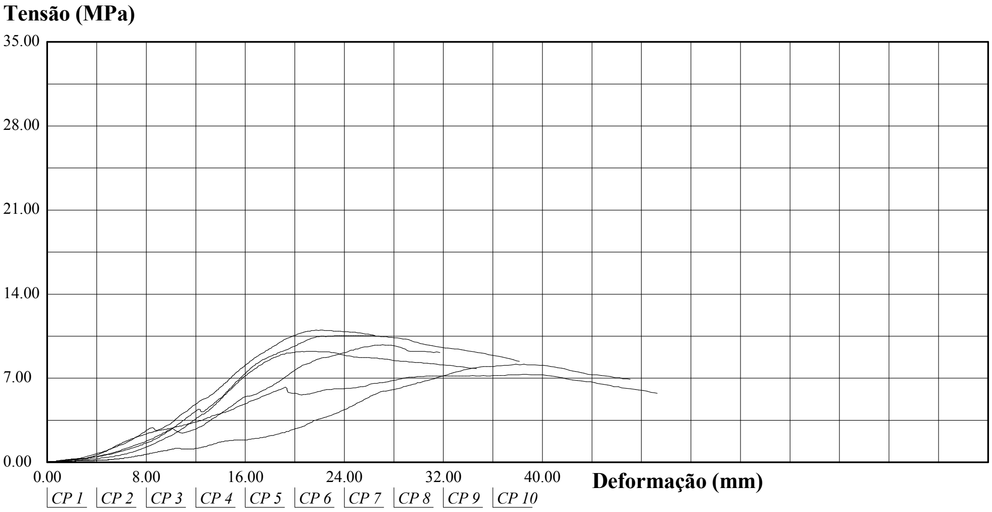
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: **-** Data: **17/03/2021** Hora: **19:23:12** Trabalho n° **1527**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **NBR 9781 Compressão intertravado**

Ident. Amostra: >>> Material : **Empresa B** Idade: Operador: **Almir**

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Taxa de incremento tensão (MPa/s)	Altura (mm)	Força Máxima (kN)	Tensão Máxima (MPa)
CP 1	**90.0**	**0.55**	**60.00**	**67.4**	**10.59**
CP 2	**90.0**	**0.55**	**60.00**	**70.1**	**11.01**
CP 3	**90.0**	**0.55**	**60.00**	**52.1**	**8.19**
CP 4	**90.0**	**0.55**	**60.00**	**58.9**	**9.27**
CP 5	**90.0**	**0.55**	**60.00**	**46.7**	**7.34**
CP 6	**90.0**	**0.55**	**60.00**	**62.4**	**9.81**
Número CPs	**6**	**6**	**6**	**6**	**6**
Média	**90.00**	**0.5500**	**60.00**	**59.60**	**9.368**
Mediana	**90.00**	**0.5500**	**60.00**	**60.68**	**9.539**
Desv.Padrão	**0.0000**	**0.0000**	**0.0000**	**8.966**	**1.409**
Coef.Var.(%)	**0.0000**	**0.0000**	**0.0000**	**15.04**	**15.04**
Mínimo	**90.00**	**0.5500**	**60.00**	**46.69**	**7.339**
Máximo	**90.00**	**0.5500**	**60.00**	**70.07**	**11.01**



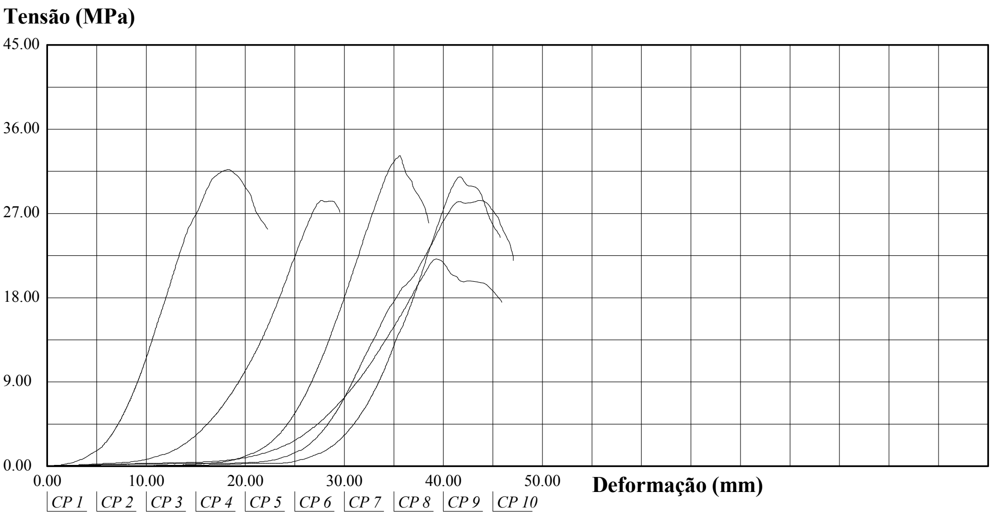
Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: **-** Data: **19/03/2021** Hora: **18:00:33** Trabalho nº **1528**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **NBR 9781 Compressão intertravado**

Ident. Amostra: >>> Material : **Empresa C** Idade: Operador: **Almir**

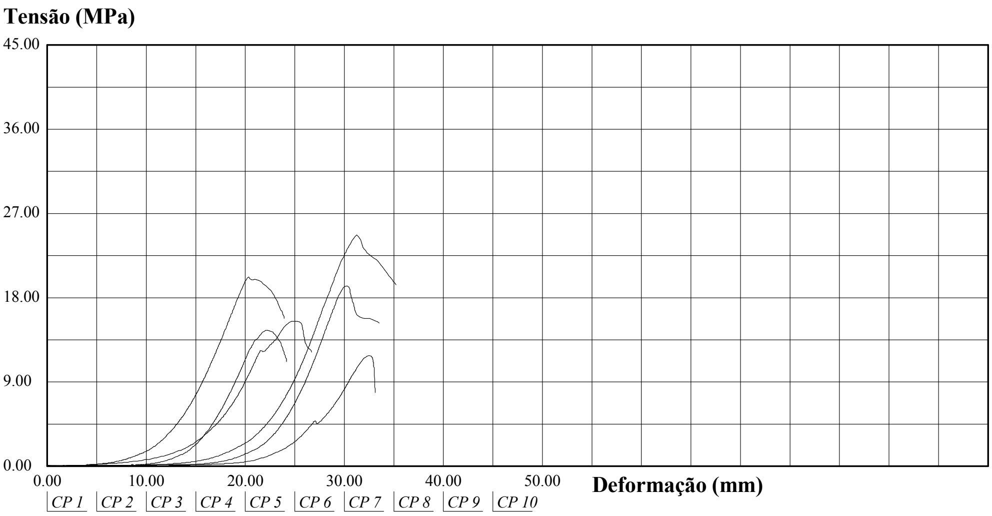
Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Taxa de incremento tensão (MPa/s)	Altura (mm)	Força Máxima (kN)	Tensão Máxima (MPa)
CP 1	**90.0**	**0.55**	**60.00**	**196.7**	**30.93**
CP 2	**90.0**	**0.55**	**60.00**	**201.8**	**31.72**
CP 3	**90.0**	**0.55**	**60.00**	**180.7**	**28.41**
CP 4	**90.0**	**0.55**	**60.00**	**180.7**	**28.40**
CP 5	**90.0**	**0.55**	**60.00**	**141.2**	**22.19**
CP 6	**90.0**	**0.55**	**60.00**	**211.1**	**33.18**
Número CPs	**6**	**6**	**6**	**6**	**6**
Média	**90.00**	**0.5500**	**60.00**	**185.4**	**29.14**
Mediana	**90.00**	**0.5500**	**60.00**	**188.7**	**29.67**
Desv.Padrão	**0.0000**	**0.0000**	**0.0000**	**24.72**	**3.886**
Coef.Var.(%)	**0.0000**	**0.0000**	**0.0000**	**13.34**	**13.34**
Mínimo	**90.00**	**0.5500**	**60.00**	**141.2**	**22.19**
Máximo	**90.00**	**0.5500**	**60.00**	**211.1**	**33.18**



Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: **-** Data: **19/03/2021** Hora: **18:33:51** Trabalho n° **1529**
Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **NBR 9781 Compressão intertravado**
Ident. Amostra: >> Material : **Empresa D** Idade: Operador: **Almir**

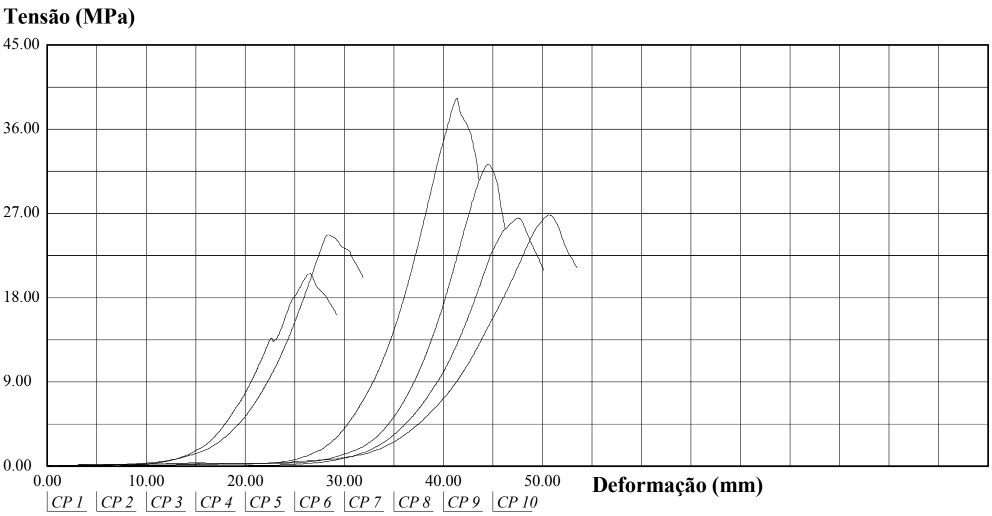
Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Taxa de incremento tensão (MPa/s)	Altura (mm)	Força Máxima (kN)	Tensão Máxima (MPa)
CP 1	**90.0**	**0.55**	**60.00**	**157.4**	**24.74**
CP 2	**90.0**	**0.55**	**60.00**	**122.8**	**19.31**
CP 3	**90.0**	**0.55**	**60.00**	**98.9**	**15.54**
CP 4	**90.0**	**0.55**	**60.00**	**75.4**	**11.85**
CP 5	**90.0**	**0.55**	**60.00**	**128.7**	**20.23**
CP 6	**90.0**	**0.55**	**60.00**	**92.6**	**14.55**
Número CPs	**6**	**6**	**6**	**6**	**6**
Média	**90.00**	**0.5500**	**60.00**	**112.6**	**17.70**
Mediana	**90.00**	**0.5500**	**60.00**	**110.8**	**17.42**
Desv.Padrão	**0.0000**	**0.0000**	**0.0000**	**29.47**	**4.632**
Coef.Var.(%)	**0.0000**	**0.0000**	**0.0000**	**26.17**	**26.17**
Mínimo	**90.00**	**0.5500**	**60.00**	**75.38**	**11.85**
Máximo	**90.00**	**0.5500**	**60.00**	**157.4**	**24.74**



Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL30000N** Célula: **Trd 30** Extensômetro: **-** Data: **19/03/2021** Hora: **18:58:50** Trabalho nº **1530**

Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **NBR 9781 Compressão intertravado**

Ident. Amostra: >>> Material : **Empresa E** Idade: Operador: **Almir**

Corpo de Prova	Diâmetro (mm)	Taxa de incremento tensão (MPa/s)	Altura (mm)	Força Máxima (kN)	Tensão Máxima (MPa)
CP 1	90.0	0.55	60.00	157.4	24.74
CP 2	90.0	0.55	60.00	131.0	20.59
CP 3	90.0	0.55	60.00	169.0	26.57
CP 4	90.0	0.55	60.00	250.3	39.34
CP 5	90.0	0.55	60.00	205.4	32.28
CP 6	90.0	0.55	60.00	171.2	26.91
Número CPs	6	6	6	6	6
Média	90.00	0.5500	60.00	180.7	28.41
Mediana	90.00	0.5500	60.00	170.1	26.74
Desv.Padrão	0.0000	0.0000	0.0000	41.69	6.554
Coef.Var.(%)	0.0000	0.0000	0.0000	23.07	23.07
Mínimo	90.00	0.5500	60.00	131.0	20.59
Máximo	90.00	0.5500	60.00	250.3	39.34