



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
CENTRO DAS CIÊNCIAS EXATAS E DAS TECNOLOGIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

CUSTODIO MOREIRA DOS SANTOS JUNIOR

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE PAVERS PRÉ-MOLDADOS DE
CONCRETO EM BARREIRAS (BA) SEGUNDO A NBR 9781 (ABNT, 2013):
ENFOQUE NOS PARÂMETROS NORMATIVOS E REPERCUSSÕES
PRÁTICAS ASSOCIADAS A CONFORMIDADE**

BARREIRAS-BA

2025

CUSTODIO MOREIRA DOS SANTOS JUNIOR

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE PAVERS PRÉ-MOLDADOS DE
CONCRETO EM BARREIRAS (BA) SEGUNDO A NBR 9781 (ABNT, 2013):
ENFOQUE NOS PARÂMETROS NORMATIVOS E REPERCUSSÕES
PRÁTICAS ASSOCIADAS A CONFORMIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade
Federal do Oeste da Bahia, como requisito parcial
à obtenção do grau de engenheiro civil.

Orientador: Dr. Kuelson Randello Dantas Maciel.

BARREIRAS-BA

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

S237 Santos Junior, Custodio Moreira dos.

Avaliação da qualidade de pavers pré-moldados de concreto em Barreiras (BA) segundo a NBR 9781 (ABNT, 2013): enfoque nos parâmetros normativos e repercussões práticas associadas a conformidade. / Custodio Moreira dos Santos Junior. – 2025.

70f.

Orientador: Prof. Dr. Kuelson Rândello Dantas Maciel.

Monografia (Graduação) – Bacharelado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. Barreiras, BA, 2025.

1. Pavers de concreto; 2. Qualidade dos blocos; 3. NBR 9781 (ABNT, 2013); 4. Resistência à compressão. I. Maciel, Kuelson Rândello Dantas. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia - Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. III. Título.

CDD 624

CUSTODIO MOREIRA DOS SANTOS JUNIOR

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE PAVERS PRÉ-MOLDADOS DE
CONCRETO EM BARREIRAS (BA) SEGUNDO A NBR 9781 (ABNT, 2013)
ENFOQUE NOS PARÂMETROS NORMATIVOS E REPERCUSSÕES
PRÁTICAS ASSOCIADAS A CONFORMIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade
Federal do Oeste da Bahia, como requisito parcial
à obtenção do grau de engenheiro civil.
Orientador: Dr. Kuelson Randello Dantas Maciel.

Aprovado em: 04 de dezembro de 2025.

Banca Examinadora

Dr. Kuelson Randello Dantas Maciel (Orientador).
Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB).

Dr. Pedro Paulo Martins de Carvalho.
Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB).

Me. Luanne Bastos de Britto Barbosa.
Universidade Federal da Bahia (UFBA).

AGRADECIMENTOS

A jornada do meu Trabalho de Conclusão de Curso não foi uma caminhada solitária. Foi um percurso seguido e pavimentado com apoio, paciência e a crença de muitos, a conclusão deste ciclo me enche com profundo sentimento de gratidão. Minha primeira e mais fervorosa gratidão se dirige à Deus, princípio e fim de todas as coisas, aquele que me conduziu e esteve comigo em cada desafio, nutrindo-me com resiliência para persistir até este momento.

Posteriormente, aos meus pais, Custódio e Valdeliene, a quem dedico o reconhecimento de uma vida. Vocês são o meu porto seguro, mesmo sem muitas instruções são aqueles que me ensinaram o valor da educação e do esforço. Sem o apoio e sacrifícios realizados por vocês, esta conquista não existiria.

Às minhas irmãs, Vanessa, Viviane, Walquíria, ao meu cunhado Davi, e a minha querida Daniela meu muito obrigado, principalmente, por serem meu time de apoio que sonharam juntamente comigo essa conquista, me ofereceram o suporte necessário e a motivação constante para essa concretização, contar com vocês foi imprescindível nessa jornada para que os dias mais difíceis se tornassem mais suportáveis.

Agradeço também ao meu colega Fábio, pela sua disponibilidade e convivência durante o tempo dedicado para contribuir comigo de forma significativa nas etapas de execução dos ensaios, sua parceria foi um fator decisivo para a solidez deste trabalho.

Um agradecimento especial para o meu ao professor e orientador, Dr. Kuelson Maciel, a quem expressei minha admiração. Gratidão pela paciência, zelo, comprometimento e especialmente por acreditar e conduzir esta pesquisa. Pois, sua orientação foi essência durante esse processo sendo como um guia que apontou os melhores caminhos, bem como, corrigiu a rota necessária com muita sabedoria e eficiência, sua contribuição é inestimável para a qualidade deste TCC.

Agradeço à Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), instituição pública e de excelência que me acolheu e proporcionou não apenas uma formação acadêmica sólida, mas também o desenvolvimento de valores éticos e humanos. Por fim, estendo minha gratidão a toda a comunidade acadêmica que fez parte desta trajetória. Aos meus professores que contribuíram significativamente para minha base profissional, e a todos os servidores e colaboradores, cujo trabalho garantiu o funcionamento do ambiente que nos permitiu aprender e crescer.

Enfim, fica aqui minha eterna gratidão a todos(as) por tudo e por tanto!

RESUMO

O presente estudo avaliou a qualidade de blocos de concreto intertravado fabricados em Barreiras-BA, com o objetivo principal de verificar a conformidade de pavers, tomando como referência os critérios técnicos estabelecidos pela NBR 9781 (ABNT, 2013). A pesquisa concentrou-se em amostras de 3 fabricantes locais, buscando relacionar suas características ao desempenho exigido para pavimentação urbana com classificação do tipo tráfego leve. O embasamento teórico contempla as tecnologias dos sistemas intertravados, requisitos normativos e aspectos de controle de qualidade. A metodologia incluiu inspeção visual, conferência dimensional, ensaio de absorção de água e teste de resistência à compressão, todos fundamentados nas diretrizes da norma vigente. Os resultados apresentaram diferenças marcantes entre os lotes avaliados, evidenciadas pelas resistências características estimadas, onde as empresas A (14,95 MPa) e B (25,48 MPa) reprovaram frente ao mínimo de 35 MPa, obtendo aprovação apenas a empresa C (35,96 MPa). Comportamento similar ocorreu na absorção de água, com as empresas A (7,10 %) e B (6,45%) excedendo o limite normativo de 6%, enquanto a empresa C (5,64%) atendeu ao requisito, somando-se a índices de não conformidade dimensional e sobretudo na espessura reprovação na análise visual para ambas as empresas. Notou-se tendência de que lotes com maior absorção apresentaram menores resistências. Conclui-se que o setor local necessita ampliar o investimento em controle tecnológico e em processos de padronização, de modo a assegurar a conformidade dos produtos com as normas vigentes e elevar a qualidade da pavimentação urbana na região.

Palavras – chave: Pavers de concreto, Qualidade dos blocos dos pavimentos intertravados, NBR 9781 (ABNT, 2013), Resistência à compressão.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Seções de uma estrada com o uso de rochas de localizada na Via Appia Antica, Roma RM, Itália, que representa historicamente o conceito da aplicação do intertravamento.....	18
Figura 2: Escala de cores das variações possíveis de pigmentação nos artefatos para pavimentação.....	22
Figura 3: Fluxo genérico dos processos industriais de fabricação de <i>pavers</i>	23
Figura 4: Modelo de máquina industrial <i>Agostine Industrial</i> , para fabricação de <i>pavers</i> e outros artefatos em concreto.....	24
Figura 5: Registros em ambiente fabril com processo automatizado evidenciando os agregados nas baias de armazenamento (A), mistura (B), mecanismo de transporte (C) e moldagem (D).....	24
Figura 6: Fluxo genérico dos processos manuais de fabricação de <i>pavers</i>	25
Figura 7: Registro fotográfico de preparação para moldagem das peças em mesa vibratória.....	25
Figura 8: Exemplos de peças usuais de concreto categorizada por sua classe, conforme Anexo D da NBR 9781.....	27
Figura 9: Registro de um pavimento de <i>pavers</i> com afundamento, recalque e peças quebradas, consequências diretas da não conformidade com a norma.....	28
Figura 10: Registro fotográfico das peças de pavimento intertravado (<i>pavers</i>) das três empresas avaliadas: Empresa A; Empresa B; e Empresa C, após a identificação das peças.	36
Figura 11: Fluxograma do programa experimental.	37
Figura 12: Ilustração do instrumento de medição (paquímetro), utilizado para a análise dimensional em dos <i>pavers</i>	39
Figura 13: Medição do comprimento do <i>paver</i> , procedimento realizado para determinação das dimensões de 200 mm (<i>realizado em cada paver individual</i>) conforme a metodologia prescrita.	39
Figura 14: Determinação da largura do <i>paver</i> com auxílio de paquímetro digital, para caracterização dimensional do elemento.	40
Figura 15: Verificação da espessura do <i>paver</i> por meio de paquímetro digital, utilizada para confirmar a dimensão vertical da peça.	40

Figura 16: Registro fotográfico dos dispositivos empregados no procedimento no ensaio de absorção de água, composto por um tanque de imersão (A), balança de precisão (B) e estufa de secagem (C).....	41
Figura 17: Determinação da massa saturada das amostras no ensaio de absorção de água, utilizando balança de precisão após o período de imersão no tanque.	42
Figura 18: Amostras dispostas no interior da estufa a temperatura de $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ (I), com ampliação destacando o interior do equipamento e a disposição das amostras (II).	42
Figura 19: Máquina Universal de Ensaio (EMIC), utilizada para a execução do ensaio de resistência à compressão dos <i>pavers</i> , com capacidade nominal de carga de 2000 kN.	43
Figura 20: Exemplares de peças das empresas A, B e C devidamente capeadas, preparadas para o ensaio de resistência à compressão.....	44
Figura 21: Posicionamento do <i>paver</i> nos pratos superior e inferior da prensa para realização do ensaio de resistência à compressão.	45
Figura 22: Ensaio de resistência a compressão em <i>paver</i> imediatamente após a ruptura.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tolerâncias dimensionais para <i>pavers</i> segundo a NBR 9781, (2013).....	28
Tabela 2: Fatores Multiplicativos para Ajuste da Resistência à Compressão em Função da Espessura dos Pavers.	31
Tabela 3: Coeficiente de Student (t) para cálculo da resistência média à compressão estimada para nível de confiança de 80%, com relação ao tamanho (n) da amostragem.	31
Tabela 4: Requisitos de desempenho e classificação funcional dos <i>pavers</i>	32
Tabela 5: Critérios de amostragem de peças para realização de ensaios de propriedades, físicas e mecânicas.....	35
Tabela 6: Resumo das dimensões reais, variações nominais e índice de forma das 6 amostras da Empresa A, com indicação de conformidade.	51
Tabela 7: Síntese das medições dimensionais e das variações das 6 amostras da Empresa B, incluindo o índice de forma e a classificação de conformidade.	52
Tabela 8: Síntese das medições dimensionais e variações das 6 amostras da Empresa C, apresentando também o índice de forma e a indicação de não conformidade das peças.	52
Tabela 9: Resultados do ensaio de absorção de água, contendo as massas obtidas nas condições seca e saturada, o valor de absorção calculado e sua classificação quanto à conformidade normativa.....	54
Tabela 10: Resumo da absorção média das empresas A, B e C, com indicação de conformidade em relação ao limite estabelecido pela NBR 9781, (2013).....	55
Tabela 11: Resumo estatístico das absorções de água das três empresas analisadas, apresentando as absorções individuais, média (\bar{X}), desvio-padrão (DP) e coeficiente de variação (C.V), utilizados para avaliar a dispersão e uniformidade dos resultados.	55
Tabela 12: Resultados individuais do ensaio de resistência à compressão das amostras da Empresa A, apresentando a carga máxima aplicada ($F_{m\acute{a}x}$), área carregada (A), fator ponderador (p), resistência individual calculada (FPI) e a verificação de atendimento ao requisito.	57
Tabela 13: Dados do ensaio de compressão das peças da Empresa B, incluindo a força de ruptura registrada, área efetiva de carregamento, parâmetro normativo p, resistência FPI obtida para cada amostra e sua respectiva conformidade frente ao limite mínimo exigido.	58

Tabela 14: Resumo das medições de resistência à compressão das amostras da Empresa C, com valores de força máxima, área utilizada no ensaio, fator normativo p , resistência individual FPI e a classificação de conformidade em relação ao requisito de 35 MPa estabelecido.	59
Tabela 15: Resumo com os valores de f_{pk} estimado para cada empresa, incluindo a verificação de conformidade em relação ao requisito mínimo normativo de 35 MPa.	60
Tabela 16: Parâmetros estatísticos (média, desvio-padrão e coeficiente de variação) calculados para cada empresa. Permite avaliar a uniformidade e a variabilidade das resistências nos lotes analisados.	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/C	Relação Água/Cimento
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
BA	Bahia
CP II	Cimento Portland Composto
CP V-ARI	Cimento Portland de Alta Resistência Inicial
FP	Resistência média (valor médio da resistência à compressão)
FPI	Resistência individual
FPK	Resistência característica de compressão
FPK-est	Resistência característica de compressão estimada
IF	Índice de forma
ISCD	International Centre for Diffraction Data
LAB	Laboratório
L/E	Relação Largura/Espessura ou Comprimento/Espessura
MPa	Megapascal
NBR	Norma Brasileira
UFOB	Universidade Federal do Oeste da Bahia
UV	Ultravioleta

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 JUSTIFICATIVA	15
1.2 HIPÓTESES	16
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1. Objetivos específicos.....	16
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2. REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1. HSTÓRIA E EVOLUÇÃO DOS PAVIMENTOS COM PAVERS	18
2.2. MATERIAIS E PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE PAVERS	20
2.2.1. Concreto	20
2.2.2. Fabricação dos <i>pavers</i>	23
2.2.3. Cura	26
2.3. PROPRIEDADES	26
2.3.1. Classificação geométrica e morfológica das peças	26
2.3.2. Características visuais e geométricas	27
2.3.3. Absorção de água	29
2.3.4. Resistência à compressão e classificação funcional.....	30
2.4. ANÁLISES TÉCNICAS DE PAVERS NO BRASIL	32
3. PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	35
3.1 COLETA DAS AMOSTRAS	37
3.2 ENSAIOS LABORATORIAIS	38
3.2.1. Análise dimensional	38
3.2.2. Ensaio de absorção de água.....	41
3.2.3. Ensaio de Resistência à Compressão.....	43
3.3 ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS	46
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4.1 ANÁLISE VISUAL DOS PAVERS	47
4.2 ANÁLISE DIMENSIONAL DOS PAVERS	51
4.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA	53
4.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL	56
4.5 CORRELAÇÃO ENTRE ABSORÇÃO DE ÁGUA E RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA ESTIMADA	63
5. CONCLUSÃO	65

5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	66
	REFERÊNCIAS.....	68

1. INTRODUÇÃO

O pavimento intertravado com peças de concreto (*pavers*) representa uma solução tecnológica avançada para a pavimentação, oferecendo uma série de vantagens em relação a outros sistemas. Quando comparado ao asfalto, por exemplo, destaca-se pela maior durabilidade, facilidade de manutenção, segurança e melhor desempenho térmico, configurando-se como uma escolha de baixo impacto ambiental e alta funcionalidade para as cidades (Silva, 2022). Em um estudo comparativo, Filgueiras (2019) demonstrou que o pavimento intertravado pode apresentar uma temperatura superficial de até 17°C menor que o asfáltico, sendo uma propriedade interessante para regiões com temperaturas elevadas e alto fluxo de pessoas.

Contudo, a materialização desses benefícios está diretamente condicionada à qualidade do produto empregado de modo que a conformidade das peças de concreto com as especificações técnicas é um fator determinante para a vida útil e a segurança das obras de pavimentação. O uso de materiais de baixa qualidade pode acarretar o surgimento precoce de manifestações patológicas, como: fissuras, desgastes excessivos e afundamentos, que comprometem o desempenho estrutural da via e a segurança de seus usuários (Daniel *et al.*, 2024). Segundo Gomes (2024), para que um pavimento intertravado, seja eficiente deve apresentar longa vida útil com baixa custo aplicado a reparos, de modo a apresentar um desempenho que garanta segurança e conforto.

Para assegurar um padrão mínimo de qualidade e desempenho, o setor da construção civil é regulado por normativas técnicas. A NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação – Especificações e métodos de ensaios (ABNT, 2013), estabelece os requisitos e os métodos de ensaio para peças de concreto destinadas à pavimentação, definindo parâmetros por exemplo para as características dimensionais, absorção de água, e resistência à compressão, que garantem que o *pavers* seja apto para suportar as solicitações de tráfego a que será submetido (Wiebbelling, 2015).

Apesar da clareza dos requisitos normativos, estudos de caso em diversas regiões do país têm evidenciado divergências em relação ao atendimento a esses requisitos. É frequente a constatação de que blocos de concreto comercializados e aplicados em obras não atendem aos critérios mínimos de desempenho estipulado pela norma. Essa lacuna entre a especificação técnica e o produto efetivamente encontrado no mercado evidencia a necessidade de verificações e controle tecnológico contínuo (Zanelato *et al.*, 2018).

O desempenho insatisfatório observado em muitos pavimentos intertravados, por vezes, está associado a um contexto mais amplo de falhas que incluem a avaliação dos artefatos empregados, ou seja, a verificação da conformidade do bloco de concreto, representa, portanto, a primeira e mais fundamental etapa para assegurar a qualidade de todo o sistema de pavimentação (Baulé *et al.*, 2020).

1.1 JUSTIFICATIVA

O emprego de materiais de construção em não conformidade com as especificações técnicas acarreta consequências diretas que transbordam os limites do canteiro de obras. No caso específico dos pavimentos intertravados, a utilização de *pavers* que não atendem aos requisitos da norma, podem comprometer a estabilidade do sistema, diminuir drasticamente sua vida útil, bem como gerar custos imprevistos e elevados com manutenções corretivas. Além do prejuízo financeiro, peças de baixa qualidade representam um risco real à segurança, podendo levar à formação de irregularidades na pista que podem causar acidentes com pedestres e veículos.

O município de Barreiras (BA) atravessa um período com acentuada expansão urbana e econômica. O aquecimento no mercado imobiliário, obtendo um notável avanço na verticalização e de novos loteamentos, impulsionando assim uma demanda crescente por insumos da construção civil. Este cenário favoreceu a proliferação de empresas de pré-moldados na região, dedicadas fabricar diversos tipos de artefatos de concreto, e, entre eles, os *pavers*. Essa pulverização de fornecedores, embora positiva do ponto de vista da oferta, é também vista como um alerta legítimo quanto à uniformidade e à garantia da qualidade do produto final que é entregue ao consumidor. Conforme Alencar (2024) o mesmo reforça, a ideia da necessidade do cumprimento rigoroso das normativas técnicas é primordial para assegurar a eficiência dos sistemas intertravados.

Conforme pontua Brito (2016, p. 166-168), “A infraestrutura pública rodoviária Brasileira é afetada com a baixa qualidade de seus pavimentos”. Nesse contexto, a presente pesquisa ganha relevância científica ao se propor a realizar um diagnóstico técnico inédito para a região. A carência de estudos publicados que avaliem especificamente a conformidade dos *pavers* produzidos em Barreiras configura uma lacuna de conhecimento. O trabalho irá, portanto, gerar dados locais essenciais, que poderão servir como referência para futuras investigações acadêmicas bem como, um subsídio técnico valioso para a comunidade da área de engenharia e arquitetura do oeste baiano.

Dessa forma, este estudo tem o interesse de diagnosticar o padrão de qualidade de *pavers* pré-moldados de concreto oriundos de três diferentes empresas no município de Barreiras (BA). Ao verificar a qualidade dos *pavers* disponíveis no mercado local, a pesquisa oferece uma ferramenta de informação para construtoras, engenheiros e para o poder público, auxiliando em processos de especificação e fiscalização dos *pavers* fabricados. Essa abordagem permite contribuir para a execução de obras mais seguras, econômicas e duráveis, impactando positivamente a qualidade da infraestrutura urbana na cidade de Barreiras.

1.2 HIPÓTESES

Os *pavers* pré-moldados de concreto, fabricados e comercializados no município de Barreiras (BA), apresentam conformidade em relação aos parâmetros visuais, dimensionais, resistência à compressão e absorção de água em conformidade com a NBR 9781, (ABNT, 2013).

1.3 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo diagnosticar o padrão de qualidade de *pavers* pré-moldados de concreto oriundos de três diferentes empresas no município de Barreiras (BA). Para tal, será conduzida uma avaliação experimental para aferir as propriedades dos *pavers*. Norteadas pelas resultantes laboratoriais dos ensaios de Inspeção Visual, Dimensional, Absorção, e Resistência à Compressão, confrontando com os critérios de desempenho e aceitação prescritos pela norma NBR 9781 (ABNT, 2013).

1.3.1. Objetivos específicos

- Realizar a inspeção visual das amostras, identificando a presença de defeitos como fissuras, quebras ou falhas de concretagem que possam comprometer a aplicação das peças;
- Aferir as características dimensionais dos *pavers*, analisando o comprimento, a largura e a espessura de cada peça com a utilização de um paquímetro, para compará-los com as tolerâncias especificadas pela norma;
- Determinar a propriedade física de absorção de água, executando o ensaio para quantificar o percentual de absorção de cada lote de amostras;

- Analisar a propriedade mecânica de resistência à compressão, por meio do ensaio de compressão de corpos de prova para obter a resistência característica das amostras, considerando as diferentes empresas estudadas.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho encontra-se estruturado de forma lógica e organizada para guiar o leitor desde a contextualização teórica até a apresentação detalhada dos resultados experimentais obtidos, dividido em 5 capítulos. O capítulo 1 Introdução apresenta a temática no cenário regional bem com a da relevância do estudo. O capítulo 2 da Fundamentação Teórica estabelece o panorama da pesquisa, iniciando com a história e a evolução do pavimento intertravado, aprofundando em tópicos como a composição dos materiais e processos de produção dos *pavers*, bem como suas propriedades.

O capítulo 3, Programa Experimental descreve de forma minuciosa o programa experimental conduzido. Apresenta a metodologia desde a coleta, preparo das amostras até o roteiro dos ensaios laboratoriais realizado nas dependências da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB).

O capítulo 4, Resultados e Discussão por sua vez, é o cerne da pesquisa, onde será apresentado e confrontados os dados obtidos, exibindo os resultados das análises de caracterização realizadas. Por fim o capítulo 5, Conclusões, será relatado as ponderações finais realizadas por meio dos resultados e a sintetização dos achados da pesquisa seguido das Referências Consultadas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O presente capítulo estabelece a base teórica e normativa essencial para a condução desta pesquisa, visando contextualizar os fundamentos do pavimento intertravado de concreto. Inicialmente, é apresentada a história e a evolução dos pavimentos com *pavers*, desde suas origens romanas até o contexto industrial moderno. Em seguida, é detalhadamente explorados os materiais, processos de produção e, principalmente, as propriedades exigidas para os *pavers*. A discussão é norteada, consolidando os parâmetros de conformidade que serão avaliados nos ensaios práticos.

2.1. HISTÓRIA E EVOLUÇÃO DOS PAVIMENTOS COM PAVERS

A prática de pavimentar vias, foi um evento fundamental para o desenvolvimento de qualquer sociedade, partindo suas origens da necessidade intrínseca de criar rotas estáveis para o comércio, movimentação de tropas e oportunizar a comunicação entre os povos. Embora registros de revestimentos rústicos em vias de transporte existam desde as primeiras civilizações, foi no Império Romano que a engenharia viária atingiu um patamar de sofisticação técnica sem precedentes, quando os romanos se tornaram pioneiros no desenvolvimento de um sistema de pavimentação multicamadas, com uma abordagem estrutural complexa que visava garantir uma longevidade excepcional às suas famosas estradas (Batista, 2022). Esse método consistia em preparar o pavimento sobrepondo camadas de diferentes materiais, desde materiais maiores na base até uma superfície de assentamento com rochas mais fina, conforme pode ser observado na Figura 1.

Figura 1: Seções de uma estrada com o uso de rochas localizada na Via Appia Antica, Roma RM, Itália, que representa historicamente o conceito da aplicação do intertravamento.



Fonte: Adaptado pelo autor, de Paoloillo; Pontisso; Roascio (2022).

Essa concepção estrutural resultou em vias de notável durabilidade, como a icônica Via Áppia evidenciada da Figura 1, que sobrevivem em trechos até hoje e atestam um conhecimento empírico avançado sobre a distribuição de tensões no solo para a preservação do pavimento (Matos, 2019). Pode-se afirmar que o conceito romano de empregar blocos de rocha para formar uma superfície coesa e resistente constitui o ancestral direto do moderno sistema de intertravamento.

Com o passar dos séculos, a técnica evoluiu das pedras brutas e irregulares para unidades mais uniformes, como os paralelepípedos. Este avanço permitiu um assentamento mais preciso e uma superfície de rolamento mais regular, melhorando o conforto e a segurança. No contexto específico do Brasil, uma manifestação histórica dessa abordagem é o calçamento tipo “*pé de moleque*”, uma técnica rudimentar de intertravamento introduzida no período colonial e amplamente utilizada em vilas e cidades para otimizar as rotas de transporte de mercadorias (Sampaio, 2016). A busca contínua pela padronização das peças de assentamento, observada nessas diferentes fases históricas, representa o fio condutor que levaria ao surgimento do *pavers* industrializado.

O advento do bloco de concreto como elemento de pavimentação ocorreu no século XX e foi catalisado por um dos maiores desafios de reconstrução da história. No período pós-Segunda Guerra Mundial, nações europeias como a Holanda e a Alemanha necessitavam urgentemente de soluções construtivas que fossem ao mesmo tempo rápidas, de baixo custo e altamente funcionais para reerguer suas cidades (Pinheiro, 2024). Os *pavers* de concreto se mostraram como a alternativa ideal permitindo uma produção em massa e uma instalação ágil, sendo sua vantagem mais estratégica de facilidade de remoção e reinstalação, permitindo acesso rápido e reparos constantes às redes subterrâneas de água, saneamento e energia (Sousa; Coelho, 2021).

A introdução e a popularização desta solução construtiva no Brasil ocorreram de maneira mais expressiva a partir da década de 1970 (Alves, 2023). Nesse sentido, Meneghetti *et al.* (2023), também afirmam que a popularidade do pavimento intertravado no Brasil, iniciada na década de 70, resultou de diversos avanços que o consolidaram como uma solução construtiva de excelente desempenho, estética agradável e custos competitivos. Embora sua adoção inicial tenha sido gradual, as qualidades intrínsecas do sistema como a versatilidade de formas, cores, a permeabilidade que auxilia na gestão da água da chuva e a manutenção simplificada garantiram sua ampla aceitação no mercado nacional. Segundo Barreto *et al.* (2016, p. 1), “O pavimento intertravado, [...], apresenta maior durabilidade, reduz a

temperatura superficial em comparação a outros pavimentos e destaca-se por sua alta capacidade de drenagem.”. Hoje, os *pavers* são artefatos de concreto onipresente na infraestrutura das cidades brasileiras, compondo a paisagem de calçadas, praças, ciclovias e áreas de tráfego. Essa longa jornada evolutiva culminou na necessidade de uma padronização técnica, materializada em normas, que hoje servem como o principal instrumento para aferir a qualidade e assegurar o desempenho destes artefatos. Sobre as vantagens dos pavimentos intertravados, Moraes (2022, p. 2) destacam que “os pisos intertravados é uma opção atraente para pavimentação de calçadas, jardins e estacionamentos [...]”.

2.2. MATERIAIS E PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE PAVERS

A concepção de um *paver* de concreto é um exercício da engenharia de materiais que depende da interação sinérgica entre a qualidade de seus insumos e a precisão do seu ciclo produtivo, os atributos dos materiais e o rigor do método, desempenham um papel crítico na durabilidade e no desempenho das pavimentações. A escolha dos materiais, juntamente com a conformidade das normas, especificações e processos, é essencial para garantir as condições desejadas dos blocos (Alves, 2023). Durante a produção, o tipo de máquina, matéria-prima, dosagens, entre outros fatores, podem influenciar diretamente na qualidade, cada componente e cada etapa da execução desempenham uma atuação insubstituível na determinação das propriedades finais da peça, como sua capacidade de carga, sua resistência ao intemperismo e sua aparência final (Amadei, 2011 *apud* Paiva, 2019).

2.2.1. Concreto

Segundo NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento, (ABNT, 2022), o concreto é uma mistura homogênea de cimento, agregados e água, que pode conter a adição de componentes minoritários, tais como aditivos. Para Toledo (2017, p. 54), “O concreto é um material composto por um meio aglomerante de cimento e água com partículas e fragmentos de material granular, denominados agregados”. De modo geral, esse material é um compósito cuja microestrutura define suas propriedades macroscópicas. No caso da areia por exemplo, é preferível utilizar uma areia média que contenha finos ou uma mistura de areia fina e grossa, evitando areia excessivamente fina para não comprometer a resistência e para não aumentar o consumo de pasta de cimento (Salbego; Girardi, 2018). A qualidade das peças pré-moldadas depende da dosagem e seleção dos insumos do concreto, segundo Daniel, *et al.* (2024, p. 19), “Engloba desde a cuidadosa seleção dos

materiais utilizados na fabricação do concreto até os métodos de produção, modelagem e cura dos blocos de concreto. Estes aspectos estão diretamente relacionados ao desempenho e à durabilidade [...]”.

Conforme define a NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento, ABNT (2022, p. 11), “Cimento Portland é o ligante hidráulico obtido pela moagem de clínquer Portland, ao qual se adiciona, durante a fabricação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio e adições minerais [...]”. Logo, o cimento Portland é o coração do compósito, o agente que, ao reagir com a água, forma uma matriz coesa que aglutina os agregados. Alcantara (2018) detalha que a escolha do cimento é crucial para a produção de *pavers*, o tipo de cimento impacta diretamente o cronograma de produção e as características de durabilidade. Cimentos de alta resistência inicial (CP V-ARI) por exemplo, são frequentemente preferidos para acelerar a desmoldagem e otimizar a logística do pátio de estocagem, entretanto outros tipos, como o Cimento Portland Composto (CP II), também são amplamente utilizados, oferecendo um bom equilíbrio entre desempenho e custo (Schvaickardt; Mattos, 2018).

Para os agregados (miúdos e graúdos), segundo a NBR 9953: Agregados – Terminologia (ABNT, 2011, p. 6), são definidos como “Material granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa ou concreto”. Sendo componentes majoritários em volume, formam o esqueleto resistente do *pavers*, sua granulometria a distribuição dos tamanhos das partículas deve ser criteriosamente estudada para se obter o máximo empacotamento. Uma curva granulométrica contínua, com uma proporção adequada de diferentes diâmetros, minimiza o índice de vazios e, conseqüentemente, a quantidade de pasta de cimento necessária para preenchê-los, resultando em um concreto mais denso, menos permeável e economicamente mais eficiente (Cruz, 2003 *apud* Schvaickardt; Mattos, 2018). Além da granulometria, a limpeza dos agregados é vital, a presença de impurezas pode prejudicar a aderência entre a pasta e o agregado, criando pontos de fragilidade e comprometendo a resistência final.

A água é o reagente que ativa as propriedades ligantes do cimento. Nessa perspectiva Paiva (2019, p. 19) destaca que, “A água utilizada para o amassamento dos aglomerantes deve ser livre de impurezas, pois a presença delas podem vir a prejudicar a preparação do concreto, deve-se evitar também o excesso ou falta de sais minerais”. Nesse sentido, sua qualidade é tão importante quanto a dos demais componentes, outro fator importantíssimo é a quantidade desse agente no composto, expressa pela relação água/cimento (*a/c*), é talvez o parâmetro de controle

mais sensível, uma relação a/c baixa de 0,48 é desejável, pois resulta em maior resistência e menor porosidade. A relação água/cimento exerce influência direta sobre a resistência à compressão do concreto, de modo que fatores a/c menores tendem a resultar em resistências superiores (Souza; Coelho, 2000). Nesse mesmo sentido, Meurer (2023) destaca que as propriedades do concreto são fortemente condicionadas pelos materiais que o compõem e pelas proporções empregadas na mistura, ressaltando a importância da relação água/cimento como um dos parâmetros determinantes no desempenho do material. Em muitos processos produtivos de menor escala, a falta de um medidor de umidade para os agregados leva a uma dosagem de água imprecisa e empírica, sendo uma das principais fontes de variabilidade e baixa qualidade do produto (Schvaickardt; Mattos, 2018).

É importante destacar que os aditivos podem ser definidos como produtos adicionados ao concreto durante o seu preparo, em proporção não superior a 5% da massa dos materiais cimentícios, com o objetivo de modificar suas propriedades no estado fresco ou endurecido, conforme relata a norma brasileira NBR 12655 Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento (ABNT, 2022).

Quanto aos pigmentos, a norma internacional ASTM C 979/C 979M – Standard Specification for Pigments for Integrally Colored Concrete (ASTM, 2022), estabelece os requisitos para pigmentos inorgânicos usados na coloração de concretos. A normativa específica que os pigmentos devem ser estáveis, permanentes, resistentes à luz, à alcalinidade do cimento e compatíveis com os demais componentes do concreto, devendo serem testados quanto à sua influência sobre a resistência mecânica e o tempo de pega do concreto. Logo, os pigmentos aplicáveis devem ser quimicamente estáveis para não desbotar com a exposição aos raios UV e não interferir negativamente nas reações do cimento (Faustino; Altran, 2024). Desse modo, a Figura 2, demonstra algumas possibilidades aplicáveis nos *pavers* por meio da aplicação de pigmentos minerais.

Figura 2: Escala de cores das variações possíveis de pigmentação nos artefatos para pavimentação.



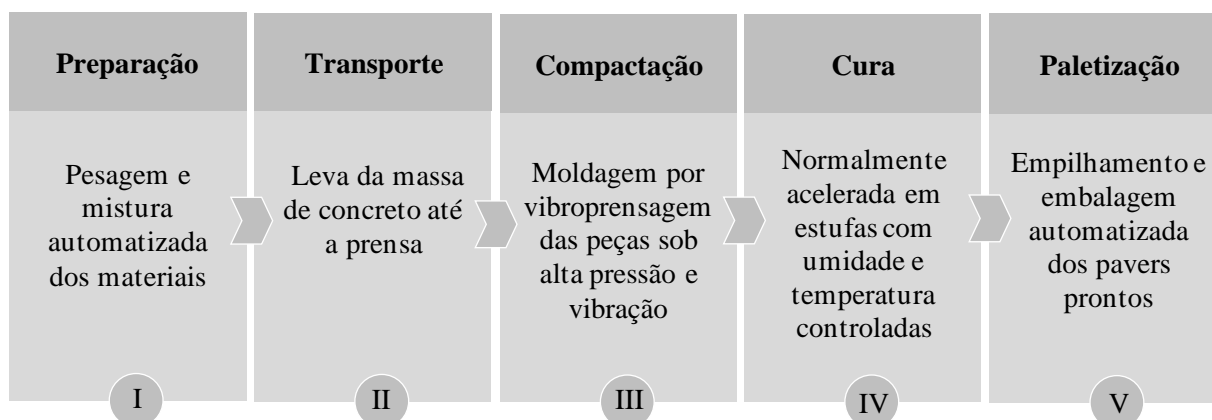
Fonte: ABCP¹ (2010).

¹ ABCP: Associação Brasileira de Cimento Portland

2.2.2. Fabricação dos *pavers*

A classificação dos processos de fabricação baseia-se em duas metodologias principais: peças viradas, produzidas manualmente, e peças vibroprensadas, cuja produção é mecanizada (Bittencourt, 2012 *apud* Paiva, 2019). O processo mecânico é a metodologia padrão para a produção em larga escala. Dessa forma Candea (2021, p. 30) destaca que “O processo de fabricação dos blocos intertravados, [...] produzidas industrialmente por vibro-prensas, proporcionam alta resistência das peças [...]”. O processo mecanizado realizado industrialmente, asseguram um elevado grau de compactação, resultando em peças com elevadas durabilidade e resistência conforme a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2010). Na Figura 3 abaixo podemos observar o fluxo das etapas do processo mecanizado para a fabricação dos *pavers*.

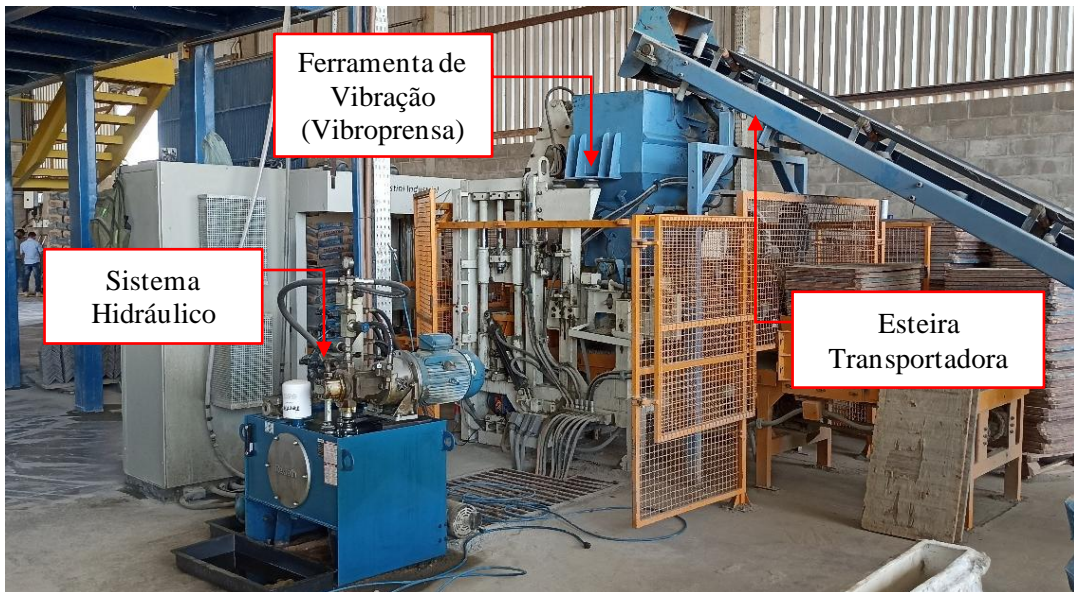
Figura 3: Fluxo genérico dos processos industriais de fabricação de *pavers*.



Fonte: Adaptada pelo autor de Alves (2023).

É fundamental mencionar que a aplicação simultânea de vibração, da alta frequência e prensagem de elevada magnitude promove uma compactação intensa na mistura de concreto seca, resultando em peças de alta densidade, baixa absorção de água e elevada precisão dimensional (Fioriti, 2007 *apud* Schvaickardt; Mattos, 2018). Na Figura 4, a seguir apresenta a ilustração de uma modelo de máquina, com sistema hidráulico, responsável pela geração e controle da força hidráulica que aciona os movimentos principais da vibroprensa (subida, descida e compactação), contando ainda com o dispositivo de esteira transportadora, mecanismo responsável por levar o material (concreto) até a zona de moldagem da ferramenta da vibroprensa que por sua vez tem um conjunto vibratório responsável pela compactação do concreto no molde, para a fabricação de *pavers*.

Figura 4: Modelo de máquina industrial *Agostine Industrial*, para fabricação de *pavers* e outros artefatos em concreto.



Fonte: Autor (2025).

Essas máquinas fazem total diferença na linha de produção industrial. Na Figura 5 é apresentado a sequência de algumas das etapas de fabricação em uma fábrica com processo automatizado, evidenciando as baias de armazenamento dos agregados (A), sequenciada pelo registro da mistura dos materiais no misturador planetário (B), sequenciada pela esteira que leva os materiais até a vibroprensa (C), subsequentemente a etapa de vibroprensagem (D).

Figura 5: Registros em ambiente fabril com processo automatizado evidenciando os agregados nas baias de armazenamento (A), mistura (B), mecanismo de transporte (C) e moldagem (D).



Fonte: Autor (2025).

Em uma outra ótica, os processos manuais são tendenciosamente artesanais. No método de “*peças dormidas*”, o adensamento é feito em mesas vibratórias e a peça permanece na fôrma por cerca de 24 horas (Paiva, 2019). No processo das “*peças viradas*”, um concreto mais plástico é usado para permitir a desmoldagem nas formas utilizadas, mas frequentemente com sacrifício do acabamento e da uniformidade dimensional (Vieira, 2021 *apud* Correia, 2022). A seguir na Figura 6, representa o esquema do fluxo de processos preponderantemente artesanais.

Figura 6: Fluxo genérico dos processos manuais de fabricação de *pavers*.



Fonte: Adaptada pelo autor, de Alves (2023).

Na Figura 7, é apresentado uma das etapas de fabricação no modelo artesanal, a ilustração evidencia o processo de preparação das formas para a moldagem dos artefatos em uma mesa vibratória (Alves, 2023).

Figura 7: Registro fotográfico de preparação para moldagem das peças em mesa vibratória.



Fonte: Autor (2025).

2.2.3. Cura

“O processo de cura envolve todas as técnicas utilizadas para manter as condições necessárias de temperatura e umidade para desacelerar a evaporação da água de amassamento necessária para a hidratação ideal do cimento [...]” (Corrêa, 2013 *apud* Baulé; Thives; Rohde, 2020, p. 2). Processos de cura podem variar desde a simples cobertura das pilhas de *pavers* com lonas plásticas para reter a umidade amplamente utilizados nos processos artesanais, até métodos controlados como por aspersão de água por mecanismo automatizado em ambientes industriais ou até mesmo por aplicação de agentes químicos de cura, que formam uma película impermeável sobre a peça. Uma cura deficiente é uma das patologias de produção mais comuns e danosas, a hidratação do cimento é uma reação que consome água e libera calor; se a água evaporar prematuramente da superfície da peça, as reações cessam, resultando em uma microestrutura porosa, com baixa resistência à compressão e ao desgaste por abrasão (Zanelato *et al.*, 2015).

2.3. PROPRIEDADES

A NBR 9781 (ABNT, 2013), estabelece um rigoroso conjunto de especificações e métodos de ensaio, servindo como um contrato de qualidade entre produtores e consumidores. Assim, entende-se que este documento é a referência central no qual inúmeros estudos acadêmicos em todo o país avaliam a conformidade dos *pavers* disponíveis no mercado, buscando diagnosticar a qualidade dos produtos e os desafios do setor (Zanelato *et al.*, 2018).

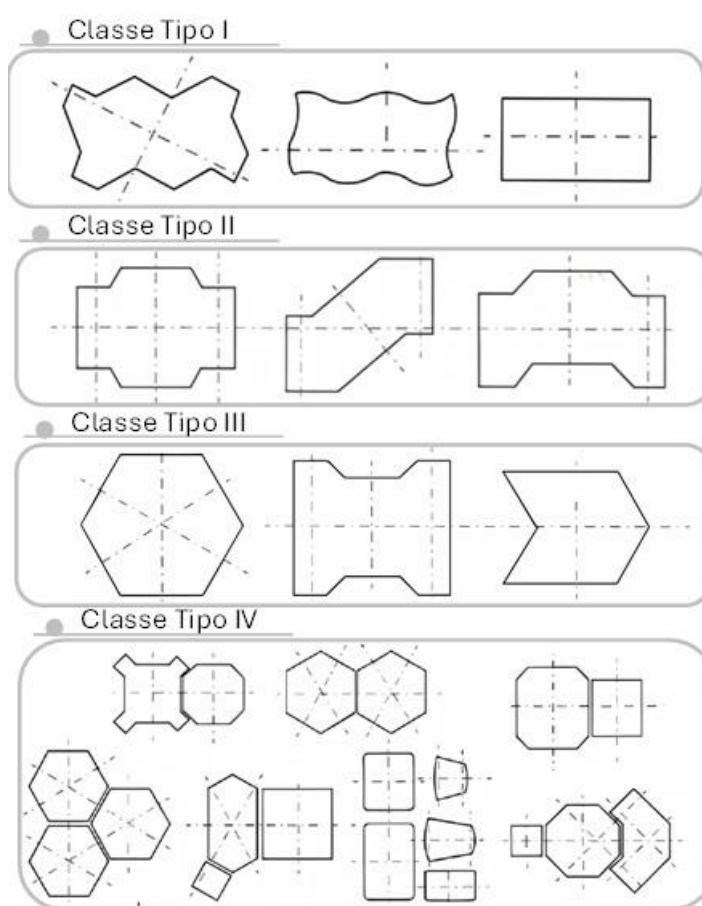
2.3.1. Classificação geométrica e morfológica das peças

De acordo com a NBR 9781 (ABNT, 2013), os *pavers* são classificados em três tipos de peças de concreto, com critérios baseados na forma e no mecanismo de intertravamento, e não na resistência. O “Intertravamento, é a capacidade que os blocos adquirem de resistir a movimentos de deslocamentos individuais, seja ele vertical, horizontal ou de rotação [...]” (Bitencourt; Arns 2016, p. 18). A morfologia das peças, permite classificar os *pavers* em quatro tipos distintos com base em seus formatos, que impactam diretamente na distribuição de tensões no intertravamento (Araujo; Dourado, 2020). A classificação geométrica é crucial, pois a capacidade de um pavimento distribuir cargas pontuais para as peças adjacentes está diretamente ligada ao nível de restrição de movimento que a geometria dos blocos proporciona (Fioriti, 2007 *apud* Schvaickardt; Mattos, 2018).

Sendo assim, a classificação dos pavimentos intertravados segue quatro tipos principais, conforme ilustrado na Figura 8. O Tipo I consiste em peças de faces paralelas, como retângulos, cujo travamento ocorre puramente por atrito. O Tipo II compreende peças com encaixes parciais, normalmente no formato “T”.

O Tipo III caracteriza-se por peças com encaixes completos, promovendo melhor travamento mecânico. Por fim, o Tipo IV inclui artefatos de diferentes tamanhos, permitindo composições variadas de padrões de assentamento, congruentes à NBR 9781 (ABNT, 2013).

Figura 8: Exemplos de peças usuais de concreto categorizada por sua classe, conforme Anexo D da NBR 9781.



Fonte: Adaptada pelo autor, com base na NBR 9781, ABNT (2013).

2.3.2. Características visuais e geométricas

A avaliação da conformidade de um lote de *pavers* inicia-se com a inspeção de suas características externas. A normativa, é clara ao exigir que as peças apresentem aspecto homogêneo, livres de defeitos como fissuras, esfoliações ou rebarbar. Em empresas de menor porte frequentemente é associado a presença de rebarbas excessivas na geometria a moldes

desgastados ou a falhas na etapa de prensagem, o que serve como um indicativo de um controle de produção deficiente (Vieira, 2021 *apud* Correia, 2022).

A precisão dimensional, é outro requisito fundamental conforme NBR 9781 (ABNT, 2013). As tolerâncias de ± 3 mm para comprimento/largura e espessura são consideradas rigorosas, e estudos demonstram que produtos de fabricação artesanal podem ter dificuldade em atendê-las de forma consistente (Schvaickardt; Mattos, 2018). Francelino *et al.* (2022) confirma e ressaltam que além das dimensões, a norma especifica um *Índice de Forma* (IF, (L/E) obrigatoriamente inferior a 4. Batista (2022), por sua vez resalta a importância deste índice para garantir a validade do ensaio de compressão, evitando que peças excessivamente esbeltas sofram ruptura por flexão antes de atingirem sua capacidade máxima de carga.

Tabela 1: Tolerâncias dimensionais para *pavers* segundo a NBR 9781, (2013).

Característica	Tolerância
Comprimento (L) e Largura (l)	± 3 mm
Espessura (E)	± 3 mm

Fonte: Adaptada pelo autor, com base na NBR 9781, ABNT (2013).

Variações dimensionais além das tolerâncias da norma impedem a criação de juntas uniformes, que são essenciais para o correto confinamento das peças pela areia de rejunte (Schvaickardt; Mattos, 2018). Sem o travamento efetivo, as peças podem se movimentar, girar e sofrer o lascamento das arestas, comprometendo a integridade de toda a superfície pavimentada. A Figura 9 ilustra falhas típicas decorrentes desse problema.

Figura 9: Registro de um pavimento de *pavers* com afundamento, recalque e peças quebradas, consequências diretas da não conformidade com a norma.



Fonte: Adaptada pelo autor, de Daniel *et al.* (2024).

2.3.3. Absorção de água

O ensaio de absorção de água é apontado na literatura técnica como um forte indicador da durabilidade do concreto, visto que a NBR 9781 (ABNT, 2013) destaca que o objetivo desse ensaio, descrito no Anexo B da norma, é quantificar o volume de vazios permeáveis no interior das peças. Nas palavras de Fioriti (2007), a alta absorção está correlacionada a uma rede de poros mais aberta, o que torna a peça vulnerável à penetração de agentes agressivos e a patologias como a eflorescência.

Para a verificação dessa grandeza, a norma NBR 9781 determina um procedimento padronizado que pode ser resumido nas seguintes etapas:

1. Saturação: Os corpos de prova devem ser imersos em água à temperatura ambiente por um período de 24 horas;
2. Pesagem (Massa Saturada): As peças são retiradas, secas superficialmente e pesadas para obtenção da massa saturada (M_{sat});
3. Secagem: As amostras são levadas à estufa a $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ até atingirem constância de massa;
4. Pesagem (Massa Seca): Determina-se a massa seca (M_{seca}) final da peça.

Com os valores de massa em mãos, o percentual de absorção de água é calculado pela relação entre a massa de água absorvida e a massa do corpo de prova seco utilizando a Equação (1), definida pela norma:

$$A(\%) = \frac{M_{SAT} - M_{SECA}}{M_{SECO}} \times 100 \quad (1)$$

A partir desse cálculo, a NBR 9781 (ABNT, 2013) define limites rigorosos para aceitação: a média do lote analisado deve ser igual ou inferior a 6%, e nenhuma peça individual pode ultrapassar 7%.

A importância do atendimento a esses limites é reforçada por Baulé *et al.* (2020), que, em estudos realizados no Brasil sobre caracterização de *pavers*, apontaram a absorção de água como um dos requisitos com maior índice de não conformidade. Na mesma linha, outro estudo evidencia que a absorção é um parâmetro que reflete diretamente na durabilidade da peça de concreto nas condições de utilização, deixando evidente a necessidade de que essa característica esteja dentro dos padrões normatizados (Chaves; Barbosa, 2019).

2.3.4. Resistência à compressão e classificação funcional

Este é o principal critério de desempenho estrutural e o mais discutido na literatura acadêmica. A NBR 9781 (ABNT, 2013), define duas classes de resistência, que funcionam como a “*classificação funcional*” do produto. Para tal, Silva *et al.* (2017) destacam que para tráfego leve, como pedestres e veículos leves, a resistência aos 28 dias deve ser de no mínimo 35 MPa, já para tráfego pesado o (f_{pk}^2) deve ser de 50 MPa. Zanelato *et al.* (2018), utilizam esta classificação para avaliar a adequação de *pavers* para projetos e, frequentemente, encontram produtos no mercado que não atingem a classe de resistência normatizada.

Para a verificação dessa propriedade fundamental, a NBR 9781 (ABNT, 2013) estabelece, em seu Anexo A, o método de ensaio padronizado para a determinação da resistência à compressão. O procedimento técnico pode ser sintetizado nas seguintes etapas operacionais:

1. Preparação das Amostras: As faces de trabalho (superior e inferior) dos *pavers* devem ser regularizadas através de capeamento (com pasta de gesso ou material equivalente) ou retificação mecânica, garantindo superfícies perfeitamente planas e paralelas para evitar concentrações de tensão indevidas durante o carregamento.
2. Execução do Ensaio: O corpo de prova é posicionado centralmente nos pratos da prensa e submetido a uma carga de compressão axial. A aplicação da força deve ser contínua e isenta de choques, obedecendo a uma velocidade de carregamento controlada (550 ± 200 kPa/s), mantida até a ruptura da peça.
3. Obtenção dos Resultados: A partir da carga máxima de ruptura (F) registrada, calcula-se a resistência individual considerando a área da seção transversal (A) e fatores de correção de espessura. Posteriormente, realiza-se o tratamento estatístico para determinar a resistência característica estimada do lote analisado.

Detalhando melhor o item (3), com a carga máxima de ruptura (F) e a área da seção transversal (A) de cada corpo de prova, iniciou-se o tratamento dos dados. Primeiramente, é calculado a resistência individual à compressão (f_{pi}) de cada peça, em Megapascals (MPa), utilizando a Equação 2.

$$f_{pi} \text{ (MPa)} = \frac{F(N)}{A(\text{mm}^2)} \quad (2)$$

² : f_{pk} – Segundo a NBR 9781 (ABNT,2013) é a resistência característica à compressão axial dos blocos de pavimentação de concreto.

A variável (p) é um parâmetro normativo que leva em função da altura da peça ensaiada, tais valores são verificados nas prescrições da norma conforme na Tabela 2.

Tabela 2: Fatores Multiplicativos para Ajuste da Resistência à Compressão em Função da Espessura dos Pavers.

Espessura nominal da peça (mm)	Fator p
60 mm	0,95
80 mm	1
100 mm	1,05

Fonte: Adaptada pelo autor, com base na NBR 9781 (ABNT, 2013).

Com os valores de resistência individual de todas as peças do lote, é realizar o calcular a resistência característica à compressão estimada (f_{pk_est} (MPa)). Este não é um simples valor médio, mas um valor estatístico que garante um nível de confiança no desempenho do lote, o cálculo é efetuado conforme a Equação (3), onde a grandeza (s) é calculada pela Equação (4) a seguir:

$$f_{pk_est} = f_p - t \cdot s \quad (3)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f_p - f_{pi})^2}{n - 1}} \quad (4)$$

A variável f_p (MPa) se refere a resistência do valor médio das peças ensaiadas e f_{pi} (MPa) indica a resistência individual de cada peça. O número total de peças da amostra é indicado por (n), e o desvio-padrão da amostra pela variável (s , (MPa)). Por fim, a variável (t), conforme a NBR 9781 (ABNT, 2013), corresponde ao “Coeficiente de Student³”, a adoção desse método estatístico se baseia exclusivamente sobre a orientação da normativa. A grandeza (t), é determinado conforme o tamanho da amostra, tendo os seus valores tabelados conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Coeficiente de Student (t) para cálculo da resistência média à compressão estimada para nível de confiança de 80%, com relação ao tamanho (n) da amostragem.

N	t	N	t
6	0,92	18	0,863
7	0,906	20	0,861
8	0,896	22	0,859
9	0,889	24	0,858
10	0,883	26	0,856

³ Coeficiente de Student: É um valor estatístico usado para avaliar a significância de resultados em amostras pequenas quando a variância da população é desconhecida.

12	0,876	28	0,855
14	0,87	30	0,854
16	0,866	32	0,842

Fonte: Adaptada pelo autor, com base na NBR 9781 (ABNT, 2013).

Com o valor do f_{pk} estimado calculado é possível a verificação do atendimento aos valores mínimos exigidos pela NBR 9781. A Tabela 4 a seguir apresenta resumidamente os critérios que regulam a conformidade dos artefatos produzidos para o ensaio de resistência a compressão em *pevers*.

Tabela 4: Requisitos de desempenho e classificação funcional dos *pavers*.

Requisito	Classe de Resistência: 35 MPa	Classe de Resistência: 50 MPa
f_{pk} mínimo	≥ 35 Mpa	≥ 50 Mpa
Absorção de Água Média	$\leq 6\%$	$\leq 6\%$
Aplicação Típica	Tráfego de pedestres, ciclovias, veículos leves de passeio.	Vias de tráfego pesado, pátios industriais e terminais de carga.

Fonte: Adaptada pelo autor, com base na NBR 9781, ABNT (2013).

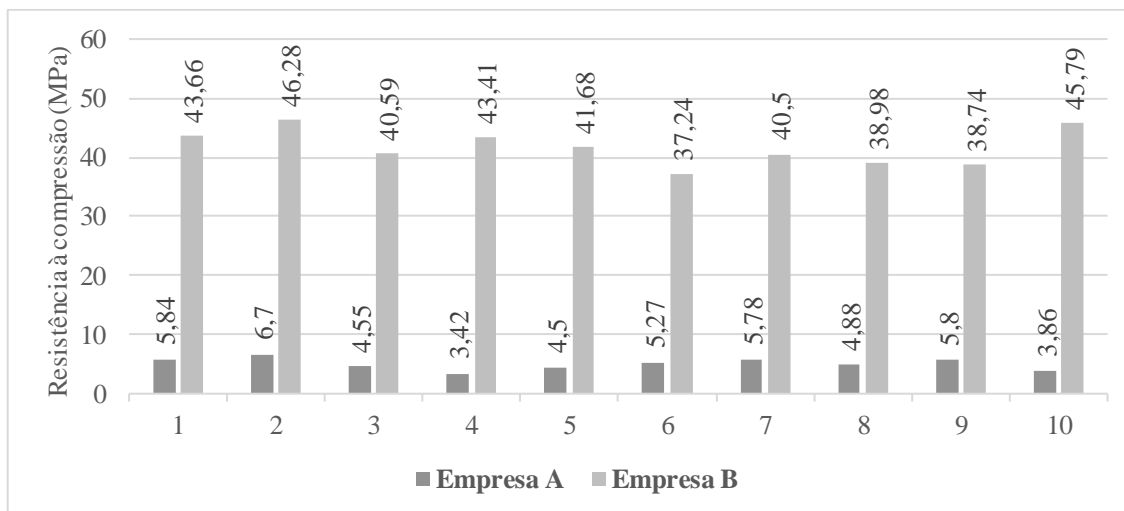
Os critérios de resistência a compressão são rigorosos, e a ocorrência de falhas de um *paver* em relação à norma resultam em patologias que prejudicam o pavimento. A baixa resistência à compressão constitui a falha severa, pois compromete diretamente sua função estrutural. Como aponta Daniel *et al.* (2024), quando um *paver* com resistência insuficiente é submetido às cargas do tráfego, ele pode sofrer esmagamento ou fratura. A ruptura de um único elemento gera uma sobrecarga nas peças adjacentes, iniciando um processo de deformação que culmina em afundamentos localizados e na formação de trilhas de roda. Essas falhas estruturais não apenas demandam reparos custosos, mas também representa um risco direto à segurança de veículos e pedestres.

2.4. ANÁLISES TÉCNICAS DE PAVERS NO BRASIL

A literatura técnica nacional sobre pavimentos intertravados forma um corpo de conhecimento coeso e alarmante, revelando uma dissonância crônica entre as especificações da NBR 9781 e a realidade dos produtos comercializados no país. Para Zanelato *et al.*, (2018) a resistência à compressão é o principal indicador da capacidade estrutural do *paver*. Em uma investigação detalhada no estado de Santa Catarina, foram avaliadas 10 amostras de cada empresa em duas empresas distintas (Zanelato *et al.*, 2018). O estudo evidenciou, conforme ilustrado no Gráfico 1, que a Empresa (B) excedeu as expectativas, ultrapassando a margem

dos exigidos 35 MPa para tráfego leve, por outro lado, a Empresa (A) apresentou valores de resistência drasticamente baixos, evidenciando uma falha sistêmica na produção.

Gráfico 1: Resultados da resistência à compressão do estudo de Zanelato *et al.* (2018), evidenciando amostras em conformidade e não conformidade com o limite mínimo de 35 Mpa.



Fonte: Adaptada pelo autor, de Zanelato *et al.* (2018).

A empresa B, cujos resultados são apresentados no Gráfico 1, evidencia grande ineficiência quanto ao direcionamento de resistência a compressão avaliada. Segundo Zanelato *et al.* (2018), esse cenário se repete em diversas regiões do país, o estudo comparativo desenvolvido pelo autor, que posicionam lado a lado produtos fabricados demonstram que peças vibroprensadas tendem a apresentar resultados mais satisfatórios e acima dos limites normativos.

Lotes de produção manual frequentemente exibem uma dispersão estatística elevada e médias de resistência insuficientes (Vieira, 2021 *apud* Correia, 2022). Na narrativa técnica bibliográfica brasileira, a causa-raiz para este desempenho deficiente é frequentemente atribuída por pesquisadores a uma relação água/cimento elevada, utilizada de forma empírica para facilitar a moldagem, e, de forma ainda mais crítica, a uma cura inadequada ou inexistente, que impede o concreto de atingir seu potencial máximo (Daniel *et al.*, 2024).

Abrindo espaço para a discussão do índice de absorção de água, que indica um prognóstico da durabilidade do concreto, revela resultados igualmente preocupantes na literatura nacional. Um estudo conduzido na região Sul do Brasil, por exemplo, não apenas encontrou lotes com absorção média acima dos 6% permitidos, como também identificou peças individuais que superavam muito o limite máximo de 7% (Baulé *et al.*, 2020).

Nessa ótica, Schvaickardt e Mattos (2018), ao analisarem produtos de fábricas nacionais, encontraram uma alta incidência de peças com variações dimensionais que extrapolavam as tolerâncias da norma. Embora a análise geométrica seja simples, tais discrepâncias evidenciam a ausência de um controle de qualidade adequado em muitas linhas de produção. Em síntese, a pesquisa acadêmica brasileira tem consistentemente demonstrado que a conformidade com a NBR 9781 é um problema típico em partes significativas da indústria de *pavers*. Fatores como a informalidade, a falta de investimento em tecnologia, o desconhecimento técnico sobre dosagem e a negligência com a etapa de cura são apontados como as principais barreiras para a produção de um material de qualidade.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Este capítulo detalha os materiais e métodos empregados, conforme as etapas executadas no estudo. O procedimento experimental desta pesquisa adotou como guia normativo a NBR 9781 (ABNT, 2023), que prescreve os métodos e os critérios para a avaliação das peças de concreto para pavimentação. O estudo foi baseado na seleção de amostras representativas, coletadas aleatoriamente a partir de lotes de produção, para a subsequente caracterização de suas propriedades visuais, geométricas, físicas, mecânicas e mineralógicas.

Para a execução dos ensaios de análise visual, dimensional, resistência a compressão e análise de absorção por água, foram catalogadas amostras provenientes de três fornecedores distintos que atuam no mercado de Barreiras (BA). Para preservar a identidade das empresas, estas serão designadas ao longo do trabalho como Empresa A, Empresa B e Empresa C. O critério de seleção das empresas se baseou na eficiência dos métodos e sistematização das rotinas de produção, foi dada prioridade para as fábricas com processos mecanizados, uma vez que esse método oferece menor variabilidade e maior controle durante as etapas de produção. De cada uma das três empresas, foi realizada a amostragem segundo os critérios da Tabela 5, adotando exemplares do modelo de *paver* retangular ($10\text{ cm} \times 20\text{ cm} \times 8\text{ cm}$ e $10\text{ cm} \times 20\text{ cm} \times 10\text{ cm}$) de coloração cinza natural, conforme especificação da NBR 9781 (ABNT, 2023).

Tabela 5: Critérios de amostragem de peças para realização de ensaios de propriedades, físicas e mecânicas.

Propriedade	Amostra
Inspeção visual	6 ^a
Avaliação dimensional	6 ^a
Absorção de água	3
Resistência à compressão	6

a: As peças amostradas podem ser utilizadas também nos ensaios de resistência à compressão.

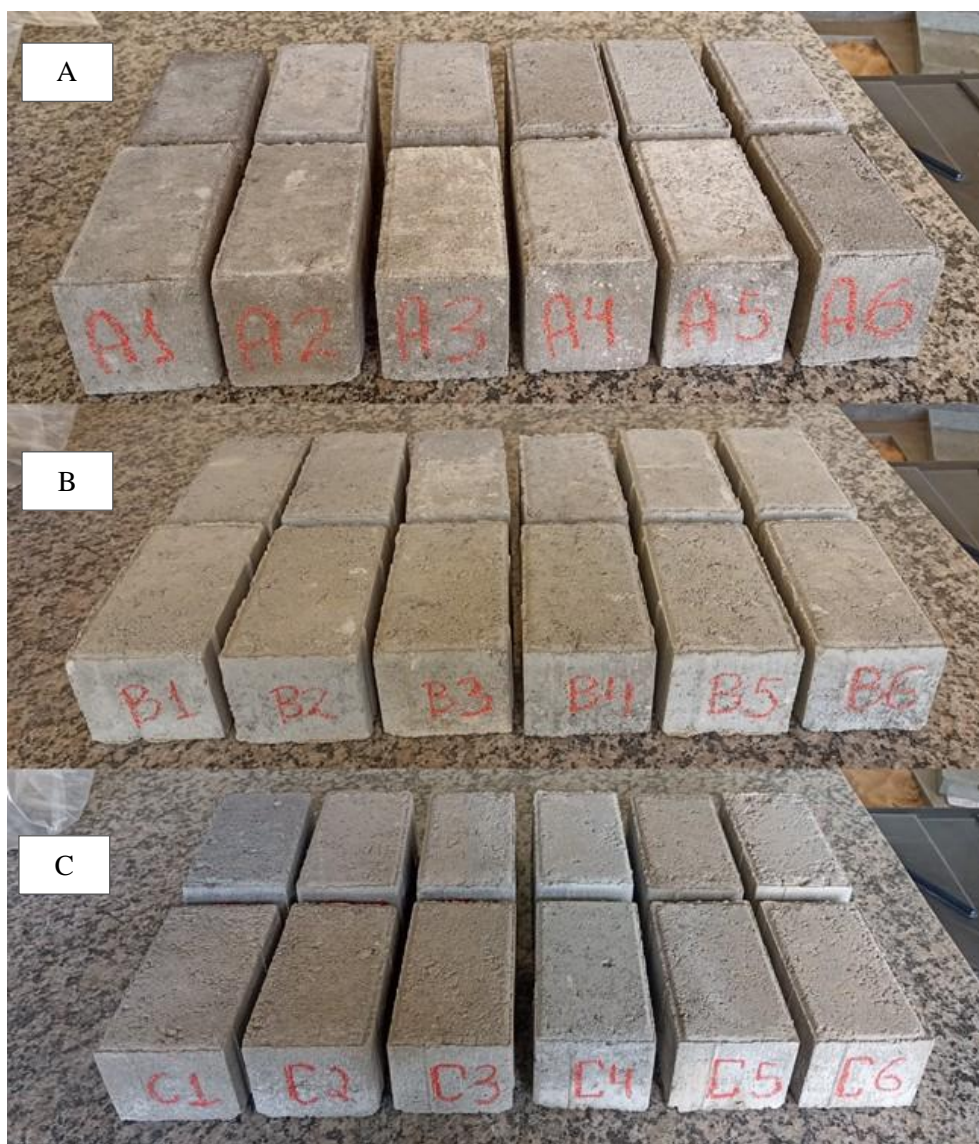
Fonte: Adaptada pelo autor, com base na NBR 9781 (ABNT, 2013).

Seguindo a distribuição indicadas na Tabela 5, para cada empresa, foram necessárias 6 peças para a inspeção visual e 6 peças para a avaliação dimensional. Entretanto, conforme a nota (a) da tabela, essas mesmas peças puderam ser reutilizadas entre os dois ensaios de caracterização visual e dimensional, bem como também, no ensaio de resistência à compressão, que igualmente exige 6 amostras. Além disso, foram necessárias 3 peças adicionais para o

ensaio de absorção de água. Assim, o total mínimo por empresa seria de 9 amostras por empresa o que resultou no somatório de 27 amostras para as 3 companhias analisadas: seis destinadas aos ensaios compartilhados (inspeção visual, avaliação dimensional e resistência à compressão) e três destinadas exclusivamente ao ensaio de absorção.

Para garantir uma margem de segurança diante de possíveis perdas ou quebras durante o manuseio, decidiu-se ampliar essa quantidade mínima. Dessa forma, foram coletadas 12 amostras por empresa, totalizando 36 peças entre as três fornecedoras apreciados. Com os itens amostrados, individualmente, cada conjunto de peças de cada empresa foi identificado conforme a Figura 10, para a realização dos ensaios.

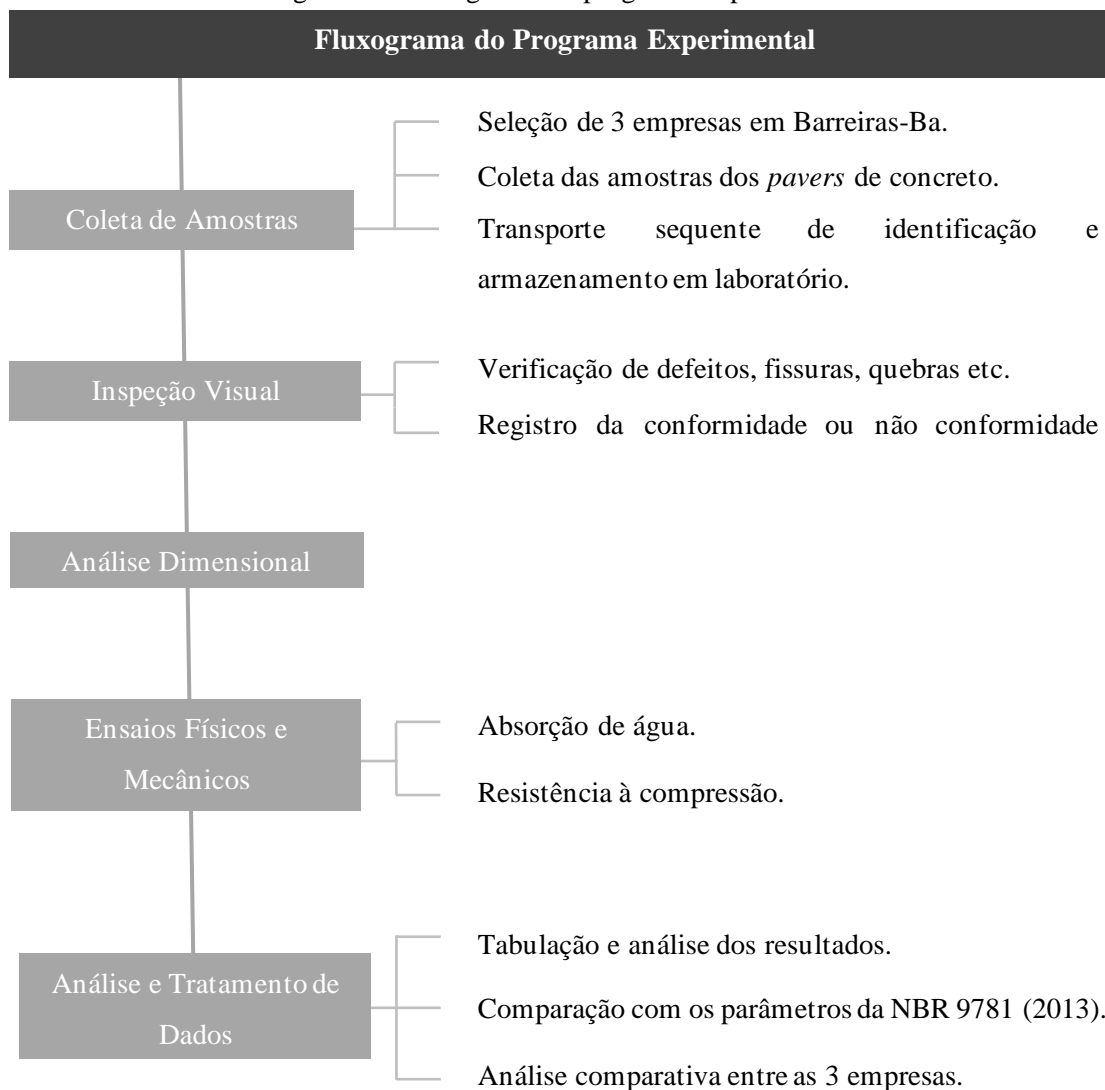
Figura 10: Registro fotográfico das peças de pavimento intertravado (*pavers*) das três empresas avaliadas: Empresa A; Empresa B; e Empresa C, após a identificação das peças.



Fonte: Autor (2025).

Importante ressaltar que todo o plano de trabalho, desde a coleta inicial até a análise final dos dados, seguiu uma sequência lógica de etapas estruturadas, conforme detalhado no programa experimental apresentado na Figura 11.

Figura 11: Fluxograma do programa experimental.



Fonte: Autor (2025).

3.1 COLETA DAS AMOSTRAS

A coleta das amostras é uma etapa crítica de qualquer pesquisa, pois garante a representatividade dos materiais a serem ensaiados e a validade dos resultados obtidos. Para este estudo, os procedimentos de coleta foram rigorosamente baseados nas recomendações da NBR 9781 (ABNT, 2013), considerando as particularidades dos processos de fabricação adotadas pelas empresas selecionadas na cidade de Barreiras (BA). Nessa perspectiva, a coleta das amostras seguiu um plano de amostragem específico por lote, onde um lote foi definido

como a quantidade de peças de concreto de um mesmo tipo, da mesma forma e espessura, produzidas no mesmo período ou em ciclo pré-estabelecido pelo fabricante, de modo que não exceda a quantidade de 10.000 peças.

Durante a coleta, foi feita a inspeção visual preliminar das peças para verificar se apresentam aspecto homogêneo, ângulos retos, livres de defeitos visuais, e descamação, conforme a NBR 9781 (ABNT, 2013). O transporte das amostras das empresas até o laboratório de construção civil da UFOB, se deu em veículo próprio, garantindo a integridade das peças durante o percurso. Os *pavers* foram acomodados de forma a evitar danos mecânicos, como impactos, que possam comprometer as características do material e, conseqüentemente, a validade dos ensaios.

Em laboratório, foram analisadas seis amostras retiradas do lote de cada empresa participante do estudo. Essas unidades foram novamente submetidas a uma criteriosa inspeção visual e, posteriormente, à avaliação dimensional dos *pavers* fabricados. Em seguida, três das doze amostras totais (seis de cada empresa) foram selecionadas para a realização do ensaio de absorção de água. Posteriormente, as seis amostras antes utilizadas na avaliação visual e dimensional, foram devidamente encaminhadas ao ensaio de resistência a compressão.

3.2 ENSAIOS LABORATORIAIS

A avaliação da qualidade dos *pavers* foi realizada por meio da execução dos ensaios obrigatórios previstos na NBR 9781 (ABNT, 2013). Todos os ensaios foram realizados nos laboratórios (Construção Civil I, Construção Civil III, laboratório de Materiais de Construção e laboratório de Geotecnia I) da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB).

3.2.1. Análise dimensional

O primeiro procedimento experimental que foi realizado em cada um dos exemplares da amostragem após a inspeção visual, foi a análise dimensional, um ensaio não destrutivo de fundamental importância que visa verificar a conformidade geométrica de cada peça. O objetivo deste ensaio consistiu em aferir com precisão as dimensões reais de comprimento, largura e espessura dos *pavers*, confrontando os valores obtidos com as dimensões nominais e as tolerâncias dimensionais prescritas na NBR 9781 (ABNT, 2013). A precisão dimensional é um requisito crítico, pois afeta diretamente a qualidade do assentamento, a uniformidade das juntas e, a eficiência do mecanismo de intertravamento do pavimento. Para a execução deste ensaio, o equipamento principal foi um paquímetro digital de haste longa conforme o modelo ilustrado

na Figura 12, com resolução de 0,01 mm, devidamente calibrado o que garantiu a acuracidade das medições segundo as recomendações da NBR 9781 (ABNT, 2013).

Figura 12: Ilustração do instrumento de medição (paquímetro), utilizado para a análise dimensional em dos *pavers*.



Fonte: Autor (2024).

O procedimento de medição foi meticuloso e padronizado para todas as amostras, com todo o passo a passo padronizado pela normativa vigente que regula os procedimentos, a NBR 9781 (ABNT, 2013). Cada peça foi posicionada sobre uma bancada plana e estável. Para a medição do comprimento, as hastes do paquímetro foram posicionadas nas duas faces de extremidade (*as faces de 200 mm*), realizando-se a leitura no painel digital do paquímetro coincidente ao ilustrado na Figura 13.

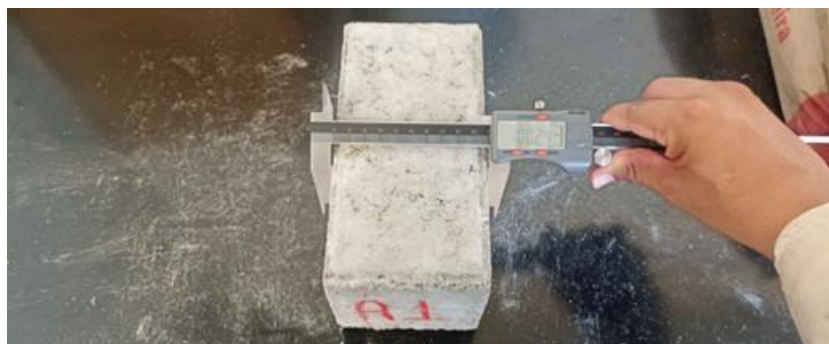
Figura 13: Medição do comprimento do *paver*, procedimento realizado para determinação das dimensões de 200 mm (*realizado em cada paver individual*) conforme a metodologia prescrita.



Fonte: Autor (2024).

De forma análoga, a largura foi aferida posicionando-se as hastes nas faces laterais (*as de 100 mm*), também em seu eixo central, conforme explicita na Figura 14.

Figura 14: Determinação da largura do *paver* com auxílio de paquímetro digital, para caracterização dimensional do elemento.



Fonte: Autor (2024).

A espessura, por sua vez, foi medida no ponto central da superfície de rolamento da peça com a superfície de base como representado na Figura 15. Esta padronização dos pontos de medição, foi essencial para evitar a influência de pequenas imperfeições ou rebarbas que por ventura poderiam existir nas arestas, o que garantiu uma leitura representativa da dimensão real do corpo da peça.

Figura 15: Verificação da espessura do *paver* por meio de paquímetro digital, utilizada para confirmar a dimensão vertical da peça.



Fonte: Autor (2024).

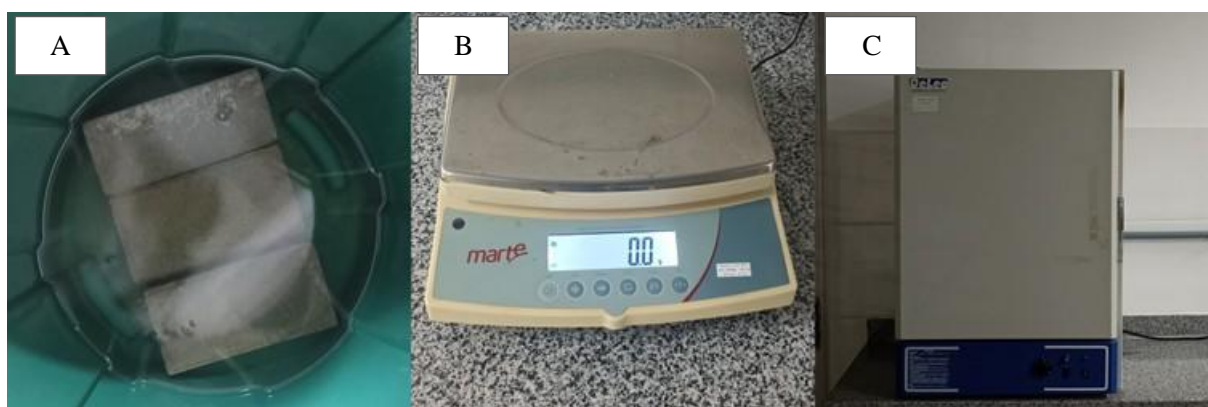
Cabe destacar, ainda, que cada uma das três medições (*comprimento, largura e espessura*) para cada corpo de prova foi registrada em uma planilha de controle específica no software Excel em campo destinado a cada empresa, permitindo a rastreabilidade dos dados. A análise subsequente consistiu na comparação direta de cada um dos valores medidos com o valor nominal correspondente, foi verificado se o desvio se encontrava ou não dentro dos limites de ± 3 mm. Por fim, foi calculado a relação do Índice de Forma (*IF*), por meio da razão entre o (*comprimento/espessura*) que deve ser menor ou igual a 4. Qualquer peça que apresentou uma

dimensão fora dessas tolerâncias e Índice de Forma superior a 4, foi registrada como não conforme.

3.2.2. Ensaio de absorção de água

Para o método executivo, foram necessários três equipamentos principais de acordo com a Figura 16: um tanque para imersão com dimensões suficientes para submergir completamente as amostras em água limpa; uma balança digital com resolução de 0,1 g e capacidade de 5 kg; e uma estufa de secagem.

Figura 16: Registro fotográfico dos dispositivos empregados no procedimento no ensaio de absorção de água, composto por um tanque de imersão (A), balança de precisão (B) e estufa de secagem (C).



Fonte: Autor (2024).

O procedimento experimental iniciou com a completa imersão dos corpos de prova selecionados no tanque com água à temperatura ambiente, onde permaneceram submersos por um período contínuo de (24 ± 2) horas. Este tempo é normatizado para garantir uma saturação consistente dos vazios capilares da peça. Após este período, cada exemplar foi cuidadosamente removido da água. Sua superfície foi enxugada com um pano limpo e úmido, apenas o suficiente para remover o filme de água visível, sem extrair a água contida nos poros, alcançando a condição conhecida como “saturada de superfície seca”. Após essa etapa, cada peça foi pesada em balança, conforme ilustrado na Figura 17. Em seguida, as amostras foram novamente submersas por um período de 2 horas. Depois desse intervalo, foram retiradas do tanque de imersão, enxugadas com um pano úmido e novamente pesadas. Esse procedimento foi repetido sucessivamente até que não fosse verificada variação superior a 0,5% entre as duas últimas medições registradas. O valor médio obtido nesse ponto foi adotado como a “*massa saturada*”.

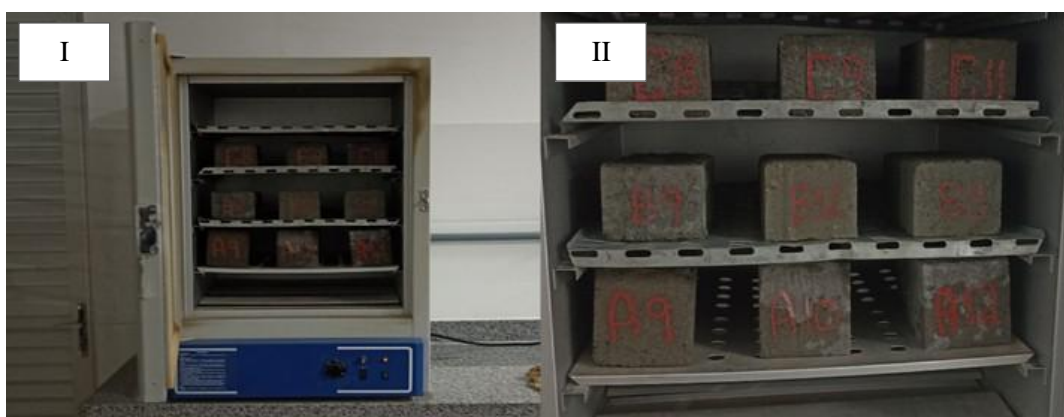
Figura 17: Determinação da massa saturada das amostras no ensaio de absorção de água, utilizando balança de precisão após o período de imersão no tanque.



Fonte: Autor (2024).

A etapa seguinte consistiu na secagem das amostras. As mesmas peças foram levadas à estufa mediante a Figura 18, que foi ajustada para operar a temperatura de $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$, onde permaneceram até que a constância de massa fosse atingida. A constância foi verificada conforme no procedimento de saturação das amostras, quando a diferença de massa entre duas pesagens, realizadas com um intervalo de 2 horas, foi inferior a 0,5% da massa da peça.

Figura 18: Amostras dispostas no interior da estufa a temperatura de $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ (I), com ampliação destacando o interior do equipamento e a disposição das amostras (II).



Fonte: Autor (2024).

Uma vez atingido a massa constante, e o valor foi registrado como a “*massa seca*” (M_{seca}). Com os dados das massas saturada e seca, calculou-se o percentual de absorção de água (A) de cada corpo de prova através da Equação (1), conforme diretrizes da norma. Posteriormente, os resultados foram tabulados em planilhas eletrônicas (Excel) e confrontados

com os critérios de aceitação da NBR 9781 (ABNT, 2013), que estabelece um limite médio máximo de 6%, e, adicionalmente, nenhum valor individual de uma única peça pode exceder 7%.

3.2.3. Ensaio de Resistência à Compressão

Este ensaio destrutivo, usado para qualificar o desempenho estrutural da peça, foi utilizado para determinar a tensão máxima que a peça pode suportar antes de se romper, permitindo o cálculo da resistência característica à compressão (f_{pk}) do lote. A execução deste ensaio demandou o uso de uma Prensa Eletro-hidráulica Universal com capacidade de carga e sistema de leitura adequados segundo a Figura 19, além de gesso, água, espátula e um recipiente para mistura, e capeamento das superfícies dos artefatos ensaiados.

Figura 19: Máquina Universal de Ensaios (EMIC), utilizada para a execução do ensaio de resistência à compressão dos *pavers*, com capacidade nominal de carga de 2000 kN.



Fonte: Autor (2025).

É interessante pontuar que na NBR 9781 (ABNT, 2013), o procedimento foi baseado no anexo (A) da norma sendo executado em três etapas:

Preparação dos Corpos de Prova: uma preparação adequada é indispensável para a validade e a precisão do ensaio, pois as superfícies de moldagem dos *pavers* podem não ser perfeitamente planas ou paralelas. Assim a aplicação direta da carga geraria concentrações de

tensão nas irregularidades, levando a uma ruptura prematura e a um resultado de resistência falsamente baixo. Para evitar este erro, as faces superior e inferior (*as que receberão a carga*), foram devidamente regularizadas utilizando o método de capeamento com gesso. As peças foram alocadas em uma bancada nivelada sobre uma folha de papel A4.

O procedimento iniciou-se com a limpeza das faces do corpo de prova destinadas ao capeamento. Em seguida, preparou-se a mistura de gesso e água, na proporção de 2 partes de gesso para 1 parte de água, até atingir uma consistência pastosa e homogênea. Com o paver apoiado sobre a bancada, aplicou-se a pasta de gesso na superfície de rolamento, utilizando uma espátula para nivelar e garantir a planicidade. Após aproximadamente duas horas de secagem, realizou-se o capeamento da superfície de base, paralela à superfície de rolamento, assegurando que ambas ficassem perfeitamente planas, conforme ilustrado na Figura 20. Esse procedimento está de acordo com as recomendações da NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova (ABNT, 2015), que, além de detalhar as etapas de moldagem e cura, estabelece parâmetros para a preparação adequada do capeamento em ensaios de compressão.

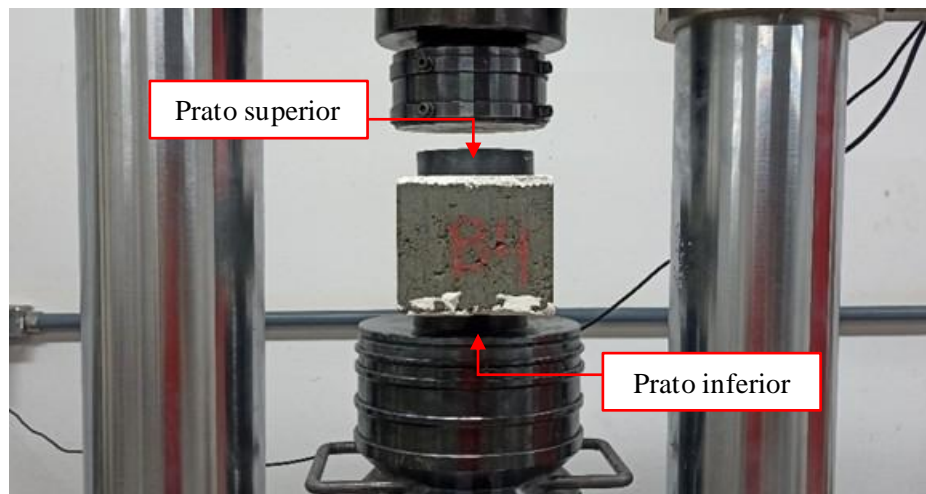
Figura 20: Exemplos de peças das empresas A, B e C devidamente capeadas, preparadas para o ensaio de resistência à compressão.



Fonte: Autor (2025).

Execução do Ensaio: após o capeamento de todas as peças a serem ensaiadas, a área da seção transversal da peça que recebeu a carga (A) foi medida com a máxima precisão possível com um paquímetro e registrada. Posteriormente, o corpo de prova foi cuidadosamente posicionado no centro do prato inferior da prensa de ensaios, conforme o registro ilustrado na Figura 21.

Figura 21: Posicionamento do *paver* nos pratos superior e inferior da prensa para realização do ensaio de resistência à compressão.



Fonte: Autor (2025).

A carga de compressão foi aplicada de forma contínua, sem interrupções, a uma taxa de carregamento constante e controlada de (550 ± 200) kPa por segundo. A aplicação da carga prosseguiu até que o corpo de prova se rompeu, momento em que o equipamento registrou a carga máxima de ruptura (F), sendo esse valor um dado bruto fundamental para os cálculos subsequentes realizados. Na Figura 22, é mostrado o registro fotográfico do ensaio de compressão axial em *paver* realizada com a prensa universal de ensaios.

Figura 22: Ensaio de resistência a compressão em *paver* imediatamente após a ruptura.



Fonte: Autor (2025).

Cálculos e Análise de Resultados: com a determinação da carga máxima de ruptura (F), foi realizado as ponderações de cálculo segundo o roteiro que a norma estabelece para se obter o valor do f_{pk} estimado para cada fábrica, anterior a conferência da conformidade ou não conformidade do lote quanto ao critério de resistência a compressão mínimo de 35 MPa.

3.3 ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS

A fase final consistiu no tratamento e na análise de todos os conjuntos de dados brutos obtidos nos ensaios laboratoriais, esta etapa foi crucial para transformar as medições numéricas em conclusões técnicas. O processo foi conduzido de forma sistemática e organizada, utilizando ferramentas estatísticas e de visualização de dados. Para tal, todos os dados coletados em cada ensaio foram digitados e organizados em planilhas eletrônicas, utilizando o software Microsoft Excel. As planilhas foram estruturadas de forma a separar claramente os resultados da Empresa A, da Empresa B e da Empresa C, o que oportunizou o mapeamento das informações.

Para cada conjunto dos resultados de cada empresa, que foi julgado pertinente, foi realizada uma análise estatística descritiva, incluindo o cálculo das seguintes métricas:

- Média: Para obter o valor central de desempenho em cada ensaio.
- Desvio Padrão: Para quantificar a variabilidade dos resultados, sendo esse um importante indicador da uniformidade e do controle do processo produtivo de cada fábrica.
- Valores Máximos e Mínimos: Usado para identificar os extremos de desempenho e verificar a conformidade de valores individuais, como no caso do ensaio de absorção de água.
- Coeficiente de Variação: Para avaliar a dispersão relativa dos dados, permitindo uma comparação mais justa da variabilidade entre ensaios com diferentes escalas de grandeza.

Com a análise estatística realizada, a caráter descritivo-comparativo ainda no Excel, foi constatada a conformidade com a norma, por meio do tratamento dos resultados obtidos para cada ensaio realizado, diretamente comparados com os limites e requisitos estabelecidos pela norma. Por fim, foi realizada a comparação entre as empresas selecionadas, na qual foi possível elaborar gráficos de barras e tabelas comparativas para apresentar visualmente o desempenho das três empresas lado a lado. Esta abordagem visual facilitou a identificação de qual fabricante apresentou o melhor desempenho, sendo notável que toda a análise foi conduzida de forma a apresentar os resultados de maneira clara, lógica e imparcial, permitindo que as conclusões do trabalho fossem solidamente embasadas nos dados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, são apresentados e analisados os resultados obtidos nos ensaios realizados, e a discussão relacionada aos dados encontrados às normas técnicas vigentes, destacando os principais pontos positivos e as deficiências encontradas na produção das diferentes empresas avaliadas.

4.1 ANÁLISE VISUAL DOS PAVERS

A inspeção visual das amostras provenientes das empresas selecionadas A, B e C, permitiu identificar um panorama amplo de defeitos recorrentes, cuja natureza e intensidade variam conforme o fabricante. Dentre os aspectos observados, destacou-se irregularidades superficiais, quebras em arestas, presença de cavidades e pequenas lacunas, além da reincidência de rebarbas afiadas nas bordas, condição esta que potencializa tanto o risco de acidentes como o de danos no assentamento.

É interessante pontuar que segmentando por empresa, a fábrica A apresentou o desempenho mais crítico em termos de qualidade visual. As peças desta fábrica evidenciaram defeitos graves, especialmente cavidades profundas de acordo com a Figura 23.

Figura 23: Identificação de cavidades na superfície de rolamento dos *pavres* da empresa A.



Fonte: Autor (2025).

As cavidades apresentaram profundidades elevadas, chegando a aproximadamente 5 mm. Esse defeito sugere que, durante a moldagem das peças, pode ter ocorrido aprisionamento de ar, falha de compactação ou umidade inadequada, o que indica possível erro nas proporções do traço do concreto. Tais ocorrências impactam diretamente na durabilidade do *paver*. Além disso, conforme já apresentado na Figura 23, esse tipo de irregularidade não foi observado apenas em uma amostra; outras unidades analisadas também apresentaram a mesma característica. Outro defeito identificado foi a presença de vazios na superfície das peças, como ilustrado na Figura 24.

Figura 24: Identificação de defeito visual com padrões que se assemelha a estrias de concretagem.



Fonte: Autor (2025).

Os vazios detectados, se assemelham a estrias de concretagem. Logo a análise visual, o aspecto superficial das peças da empresa A se mostrou poroso e com vazios presentes, essas falhas nos leva a sugerir falha no adensamento das partículas e no traço do concreto, o que pode ainda ter sido agravados pelo controle tecnológico inadequado. Considerando que foi selecionado o modelo de produção automatizado, esses defeitos identificados, sugere induzir que possa ser promovido pela máquina vibroprensa quando há desajuste nos parâmetros de vibração e mistura. Para evitar interpretações tendenciosas, a Figura 25 apresenta uma comparação entre peças que inicialmente mostraram menor ocorrência de defeitos e outras que exibiram maior incidência. A análise dessa comparação confirma novamente o diagnóstico observado nas demais amostras.

Figura 25: Comparação entre a amostra com menor incidência de defeitos visuais (à esquerda) e a amostra com maior incidência de defeitos (à direita), destacando as diferenças de textura, regularidade superficial e presença de falhas estruturais observadas.

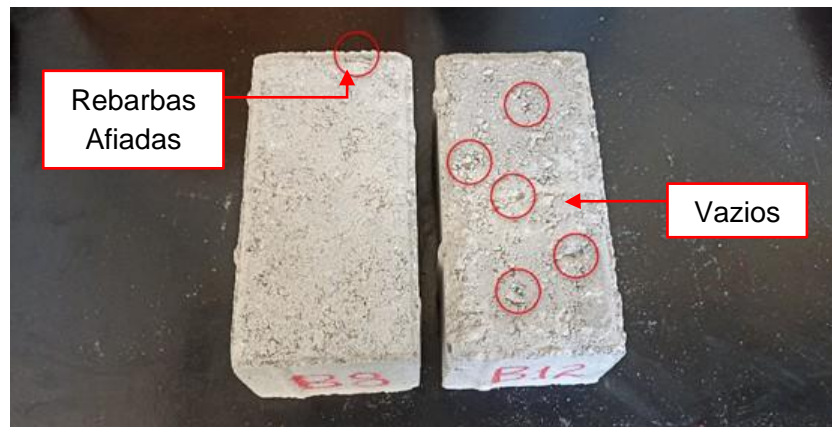


Fonte: Autor (2025).

A análise das peças da empresa B indicou um padrão geral de fabricação superior ao concorrente A. Notou-se, a redução nas ocorrências, com superfícies mais íntegras em algumas

peças, comprovando parâmetros de produção mais controlados. Contudo, apresentaram vazios (*cavidades*) com menor profundidade, mas o suficiente para que as peças apresentassem uma superfície de rolamento extremamente rugosa. Além disso, as peças exibiram rebarbas afiadas em suas laterais em concordância com a Figura 26, aspecto que persiste como desafio comum em processos de prensagem mecanizada pois é frequentemente apontado na literatura como consequência do desgaste de moldes ou da remoção inadequada pós-desmoldagem.

Figura 26: Comparativo entre a peça com menor ocorrência de avarias (à esquerda) e aquela com maior presença de defeitos (à direita), evidenciando rebarbas e vazios.



Fonte: Autor (2025).

Entretanto, tais defeitos, assim como os relatados a empresa A, são potencialmente nocivos ao desempenho e performance das peças. Em relação à empresa C, o conjunto de amostras apresentadas obtem padrão visual melhor que A, mas não superou o aprimoramento da empresa B. As imperfeições, apesar de menos acentuadas, ainda incluem porosidades visíveis elevada e rebarbas nas extremidades conforme a Figura 27.

Figura 27: Comparação entre a peça com melhor acabamento superficial (à esquerda) e a peça com mais imperfeições (à direita), destacando a presença de falhas como rebarbas e microvazios.

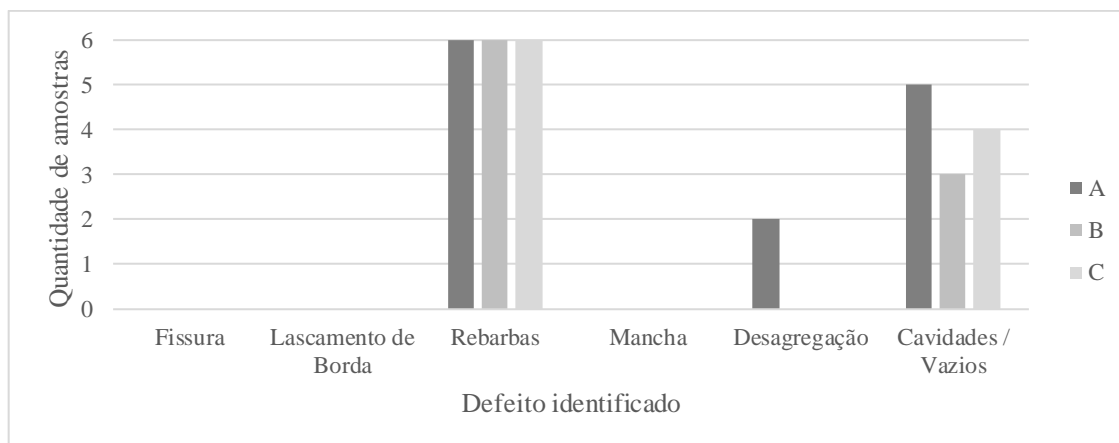


Fonte: Autor (2025).

De forma geral, quando comparados com a análise, evidenciou-se que a empresa A ocupa a posição de pior resultado quanto a análise visual, com o maior número e gravidade de falhas visuais. O acabamento das peças revela falta de regularidade, sendo as cavidades profundas seu defeito mais marcante. No extremo oposto, a empresa B apresenta o melhor aspecto geral, mas parte de suas amostras não atinge o padrão de excelência previsto na norma.

Portanto, as empresas demonstraram ter ao menos algumas peças com defeitos suficientes para eliminar sua aprovação em uma avaliação visual rigorosa conforme os registros do histograma do Gráfico 2, que apresenta a frequência relativa dos principais defeitos observados, permitindo comparar o desempenho produtivo entre as empresas e identificar padrões de ocorrência relacionados ao processo de fabricação. Em resumo na inspeção realizada, evidencia principalmente rebarbas afiadas nas bordas em todas as 6 amostras, que persistiram independentemente do fabricante, seguida de cavidades ou vazios na superfície de rolamento. Tal falha reflete uma limitação operacional típica de processos mecanizados com moldes metálicos, que aponta ser este um ponto crítico da produção em larga escala via prensagem.

Gráfico 2: Histograma dos defeitos identificados nas peças provenientes das três fábricas (A, B e C), considerando a análise de 6 amostras por fabricante.



Fonte: Autor (2025).

Assim, a partir da amostragem reunida e dos critérios de avaliação adotados, observa-se que nenhuma das empresas conseguiu apresentar uma similitude de qualidade absoluta. O fato de nenhuma das empresas conseguir apresentar homogeneidade de qualidade e o rigor da NBR 9781 implica na rejeição do lote apenas no exame visual. O Gráfico 2 é um instrumento informativo que quantifica e evidencia a falta de uniformidade produtiva. Este cenário reforça a importância do controle tecnológico específico na produção, da manutenção periódica dos

equipamentos de prensagem e da correta preparação do traço utilizado, fatores já enfatizados nas palavras de Silva *et al.* (2022).

4.2 ANÁLISE DIMENSIONAL DOS PAVERS

No lote analisado da empresa A, notou-se que quatro das seis peças encontram-se completamente dentro dos limites de tolerância estabelecidos. Outra observação a ser mencionada é sobre os desvios na espessura com duas peças fora do normatizado demonstrado nos resultantes da Tabela 6, o que indica possivelmente que há falhas significativas no controle de prensagem e variação possível na distribuição do concreto durante a moldagem. Os maiores desvios ocorrem na espessura, com peças ultrapassando em até 1,80 mm o limite de $\pm 3,00$ mm permitido, gerando produtos fora do padrão que podem comprometer o nivelamento e provocar falhas no sistema intertravado. Este cenário reflete a interferência direta de falhas operacionais e de controle tecnológico no processo de produção mecanizada, já discutidas por Silva *et al.* (2022) em estudos de desempenho de pavimentados brasileiras.

Tabela 6: Resumo das dimensões reais, variações nominais e índice de forma das 6 amostras da Empresa A, com indicação de conformidade.

Empresa	L(mm)	C(mm)	E(mm)	ΔL(mm)	ΔC(mm)	ΔE(mm)	IF(L/E)	Conforme
A	200,39	100,24	100,31	0,39	0,24	0,31	2,00	Sim
	200,98	100,16	100,55	0,98	0,16	0,55	2,00	Sim
	200,58	100,08	102,35	0,58	0,08	2,35	1,96	Sim
	200,49	100,13	103,80	0,49	0,13	3,80	1,93	Não
	200,92	100,18	103,78	0,92	0,18	3,78	1,94	Não
	200,32	100,47	102,39	0,32	0,47	2,39	1,96	Sim
<i>Legenda</i>	<i>L (mm) = Comprimento real da peça;</i> <i>C (mm) = Largura real da peça;</i> <i>E (mm) = Espessura real da peça;</i> <i>ΔL (mm) = Variação do comprimento real da peça em relação ao comprimento nominal;</i> <i>ΔC (mm) = Variação da largura real da peça em relação à largura nominal;</i> <i>ΔE (mm) = Variação da espessura real da peça em relação à espessura nominal;</i> <i>IF(L/E) = Índice de forma (Comprimento/Espessura), recomendado próximo de 2 para preveres retangulares.</i>							

Fonte: Autor (2025).

No caso da empresa B, observou-se um desempenho completamente intermediário: três peças atenderam às tolerâncias dimensionais, enquanto as demais ocorreram variações, mais uma vez na espessura, em maior magnitude que as ocorrências no lote da empresa A. As irregularidades indicadas sugerem maior variabilidade produtiva, além da esperada. É essencial destaca, que algumas peças da empresa B atingiram resultados próximos aos ideais, entretanto

não corroboram uma percepção de padrão superior em relação a empresa A uma vez que teve mais exemplares em não conformidade.

Tabela 7: Síntese das medições dimensionais e das variações das 6 amostras da Empresa B, incluindo o índice de forma e a classificação de conformidade.

Empresa	L(mm)	C(mm)	E(mm)	ΔL (mm)	ΔC (mm)	ΔE (mm)	IF(L/E)	Conforme
B	199,17	99,92	82,11	-0,83	-0,08	2,11	2,43	Sim
	199,18	99,51	82,58	-0,82	-0,49	2,58	2,41	Sim
	201,32	101,02	81,08	1,32	1,02	1,08	2,48	Sim
	200,89	99,7	83,92	0,89	-0,30	3,92	2,39	Não
	199,79	99,97	83,14	-0,21	-0,03	3,14	2,40	Não
	201,24	99,92	84,52	1,24	-0,08	4,52	2,38	Não
<i>Legenda</i>	<i>L (mm) = Comprimento real da peça;</i> <i>C (mm) = Largura real da peça;</i> <i>E (mm) = Espessura real da peça;</i> <i>ΔL (mm) = Variação do comprimento real da peça em relação ao comprimento nominal;</i> <i>ΔC (mm) = Variação da largura real da peça em relação à largura nominal;</i> <i>ΔE (mm) = Variação da espessura real da peça em relação à espessura nominal;</i> <i>IF(L/E) = Índice de forma (Comprimento/Espessura), recomendado próximo de 2 para preveres retangulares.</i>							

Fonte: Autor (2025).

Em relação à empresa C, foi fornecido o maior índice de não conformidade dimensional como mostra a síntese das resultantes na Tabela 8: todas as seis amostras testadas excederam os limites tolerados de espessura, mesmo quando comprimento e largura mantiveram-se próximos das configurações previstas. Tais desvios se tratam de um indício de despreparo ou falta de eficiência adequada dos equipamentos, bem como possível inconsistência na homogeneização dos materiais constituintes. O controle ineficaz sobre a espessura pode causar tanto desnível superficial quanto prejuízo à distribuição de esforços ao longo do pavimento, comprometendo a vida útil e o conforto de uso.

Tabela 8: Síntese das medições dimensionais e variações das 6 amostras da Empresa C, apresentando também o índice de forma e a indicação de não conformidade das peças.

Empresa	L(mm)	C(mm)	E(mm)	ΔL (mm)	ΔC (mm)	ΔE (mm)	IF(L/E)	Conforme
C	200,31	99,83	83,45	0,31	-0,17	3,45	2,40	Não
	199,97	100,22	83,27	-0,03	0,22	3,27	2,40	Não
	199,58	100,2	84,03	-0,42	0,20	4,03	2,38	Não
	200,06	100,13	83,1	0,06	0,13	3,10	2,41	Não
	199,76	100,09	83,78	-0,24	0,09	3,78	2,38	Não
	199,75	100,43	83,56	-0,25	0,43	3,56	2,39	Não
<i>Legenda</i>	<i>L (mm) = Comprimento real da peça;</i> <i>C (mm) = Largura real da peça;</i> <i>E (mm) = Espessura real da peça;</i> <i>ΔL (mm) = Variação do comprimento real da peça em relação ao comprimento nominal;</i>							

ΔC (mm) = Variação da largura real da peça em relação à largura nominal;
 ΔE (mm) = Variação da espessura real da peça em relação à espessura nominal;
 $IF(L/E)$ = Índice de forma (Comprimento/Espessura), recomendado próximo de 2 para preveres retangulares.

Fonte: Autor (2025).

O índice de forma (L/E) calculado para cada peça de cada empresa (A, B e C), se mostra dentro do limite máximo aceitável sendo menor que 4,0 conforme prescrito pela NBR 9781 (ABNT, 2013), sendo que os valores mais próximos de 2 indicam uma proporção equilibrada e adequada para blocos retangulares, que favorece o encaixe e a estabilidade estrutural do pavimento. Na análise dos dados apresentados, os índices de forma estão próximos de 2,0 para a maioria das peças, o que indica que apesar das variações dimensionais, ainda assim temos conformidade com o critério citado o que indica boa regularidade na proporção.

Por fim, verifica-se que para as empresas (A, B e C), com relação as dimensões da largura e comprimento da peça foi obtido resultados convergentes com as prescrições normativas, entretanto para os dados da espessura, verifica-se irregularidades nos resultados, reforçando que, com exceção de peças, a maioria das amostras avaliadas extrapola pelo menos um parâmetro dimensional dentre aqueles prescritos pela NBR 9781 (ABNT, 2013), refletindo em não conformidade com a norma. A falta de atendimento sistemático às tolerâncias tanto reflete fragilidades presentes na cadeia produtiva local quanto evidencia a necessidade de investir em melhoria de processos, capacitação operacional e revisão periódica dos equipamentos de fabricação para obtenção de lotes homogêneos.

4.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA

A análise dos resultados obtidos no ensaio de absorção de água revela um cenário muito variado referente a análise das amostras individuais para cada empresa, isso chama atenção, uma vez que a conformidade dos *pavers* quanto a esta importante propriedade física está intimamente ligada à durabilidade das peças. O ensaio forneceu evidências importantes sobre a densidade e a presença de vazios que potencialmente comprometem o desempenho da peça. Ao comparar os dados das três empresas avaliadas, observa-se, inicialmente pela Tabela 9, que a maioria das amostras testadas apresentaram valores individuais de absorção superiores ao limite máximo de 6% estabelecido para peças isoladas pela norma.

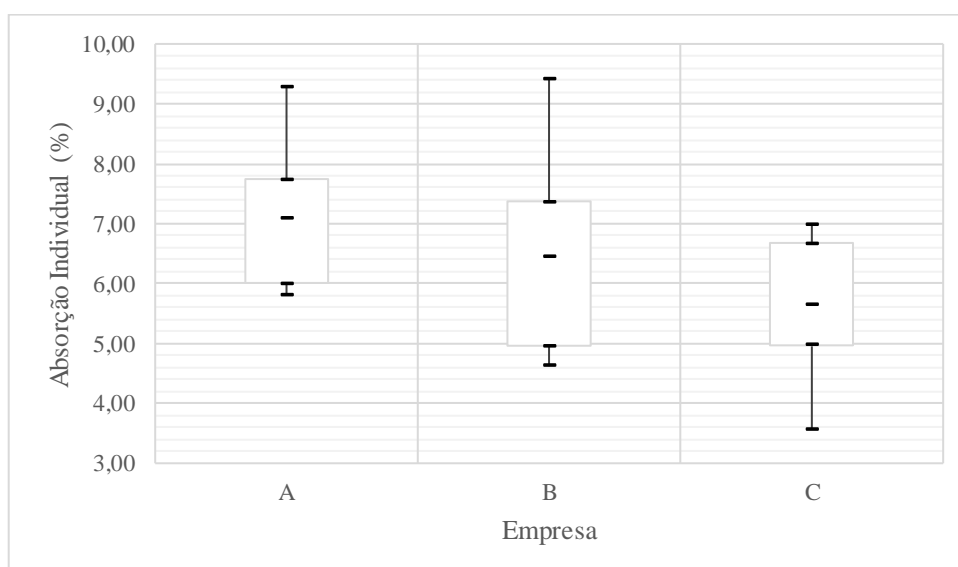
Tabela 9: Resultados do ensaio de absorção de água, contendo as massas obtidas nas condições seca e saturada, o valor de absorção calculado e sua classificação quanto à conformidade normativa.

Empresa	Amostra	Massa saturada (g)	Massa seca (g)	Absorção Individual (%)	Conforme a Tolerância (S/N)
A	1°	4259,7	3897,4	9,30	Não
	2°	4612,6	4359,3	5,81	Sim
	3°	4522,4	4258,6	6,19	Não
B	1°	3827,4	3635,1	5,29	Sim
	2°	3721,3	3556,6	4,63	Sim
	3°	3584,5	3275,7	9,43	Não
C	1°	3621,6	3405,1	6,36	Não
	2°	3789,3	3542,1	6,98	Não
	3°	3730,6	3601,7	3,58	Sim

Fonte: Autor (2025).

Destaca-se que a empresa A e B, apresentou peça com valores de absorção muito elevados, na ordem de 9%. Somente uma amostra da Empresa A e duas da Empresa B ficaram dentro do limite individualmente preconizado pela norma com valores heterogêneos, enquanto a Empresa C apresentou ligeiramente mais homogêneos conforme pode-se observar no Gráfico 3, mas ainda revelou valores acima do desejável em duas peças das medições.

Gráfico 3: Boxplot representando a distribuição das absorções individuais das amostras das três empresas, evidenciando a dispersão, valores médios e possíveis variações entre os lotes analisados.



Fonte: Autor (2025).

O boxplot apresentado no Gráfico 3 sintetiza a dispersão e a tendência central dos resultados, deixando evidente uma variação significativa entre os lotes das empresas. A máxima

do valor individual foi observada em uma peça da Empresa B (9,43%), enquanto a menor absorção individual foi verificada na Empresa C (3,58%). A amplitude dos resultados reforça a dificuldade das empresas locais em manter controle uniforme do processo, o que corrobora com a literatura, que associa alta dispersão à variabilidade dos processos de produção e cura do concreto (Salbego & Girardi, 2018).

A Tabela 10 a seguir, apresenta as médias de absorção de água por empresa: Empresa A com 7,10%, Empresa B com 6,45% e Empresa C com 5,64%. Conforme as prescrições normativas, apenas a Empresa C obteve média abaixo do limite estipulado pela NBR 9781 (6%), sendo classificada como conforme à norma. Entretanto, mesmo para esta, parte das amostras excedeu o limite individual permitido, indicando que a regularidade do processo ainda precisa ser aprimorada.

Tabela 10: Resumo da absorção média das empresas A, B e C, com indicação de conformidade em relação ao limite estabelecido pela NBR 9781, (2013).

Empresa	Absorção Média (%)	Requisito de Desempenho (%)	Conforme a Tolerância (S/N)
A	7,10	≤ 6 %	Não
B	6,45		Não
C	5,64		Sim

Fonte: Autor (2025).

Uma vez que constatado a verificação com os requisitos de desempenho da norma, é importante uma análise estatística das resultantes do ensaio, como disposta na Tabela 11, que agrega média, desvio-padrão e coeficiente de variação (CV) das absorções. É possível perceber que a Empresa B apresentou o maior coeficiente de variação (40,3%), evidenciando grande dispersão nos resultados e pouca uniformidade entre as peças produzidas. A Empresa C também apresentou alta variabilidade (32,1%), enquanto a Empresa A, embora tenha apresentado coeficiente menor (26,9%), ainda indicou uma produção com variabilidade elevada, com valores em não conformidade com a norma. Essas resultantes de variabilidade, são similares ao encontrado por Baulé *et al.* (2020) em outras regiões, o que reafirma a grande dispersão em relação à média.

Tabela 11: Resumo estatístico das absorções de água das três empresas analisadas, apresentando as absorções individuais, média (\bar{X}), desvio-padrão (DP) e coeficiente de variação (C.V), utilizados para avaliar a dispersão e uniformidade dos resultados.

Empresa	Absorção Individual (%)	\bar{X} Absorção (%)	DP. Absorção (%)	C.V (%)
	9,30			

A	5,81 6,19	7,1	1,9	26,9
B	5,29 4,63 9,43	6,5	2,6	40,3
C	6,36 6,98 3,58	5,6	1,8	32,1

Fonte: Autor (2025).

Em síntese, os resultados indicam que a maioria dos *pavers* disponíveis no mercado local não atende de modo sistemático ao requisito de absorção de água prescrito pela NBR 9781, (ABNT, 2013). Nesse contexto, o registro dessa não conformidade pode implicar em artefatos com maior porosidade, tornando as peças mais suscetíveis à ação de agentes agressivos, à formação de eflorescências e à diminuição da vida útil do pavimento. Essa constatação reforça, assim como destacado por Chaves e Barbosa (2019), a necessidade de aperfeiçoamento dos controles produtivos, especialmente nas etapas de dosagem, adensamento e cura do concreto.

De modo geral, observa-se ainda que a dificuldade em manter absorções baixas e regulares podem estar associadas tanto à mistura utilizada quanto ao controle do ciclo produtivo e à falta de rastreabilidade dos parâmetros por parte dos fabricantes. Portanto, o ensaio demonstra-se, fundamental na rotina de controle da qualidade e deve ser considerado indutor de melhorias para a indústria de artefatos na cidade de Barreiras-BA.

4.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

A análise de resistência à compressão axial das peças revelou diferenças marcantes entre os lotes avaliados das três empresas, evidenciando mais uma vez o impacto direto do controle dos processos produtivos e da seleção de insumos sobre o desempenho final das peças. Os resultados da Empresa A demonstraram valores consideravelmente abaixo do mínimo exigido por norma como demonstra a Tabela 12, com todas as amostras ficando distantes do patamar de 35 MPa, que é a resistência mínima para a classe de uso de tráfego leve, determinado pela NBR 9781, (ABNT, 2013).

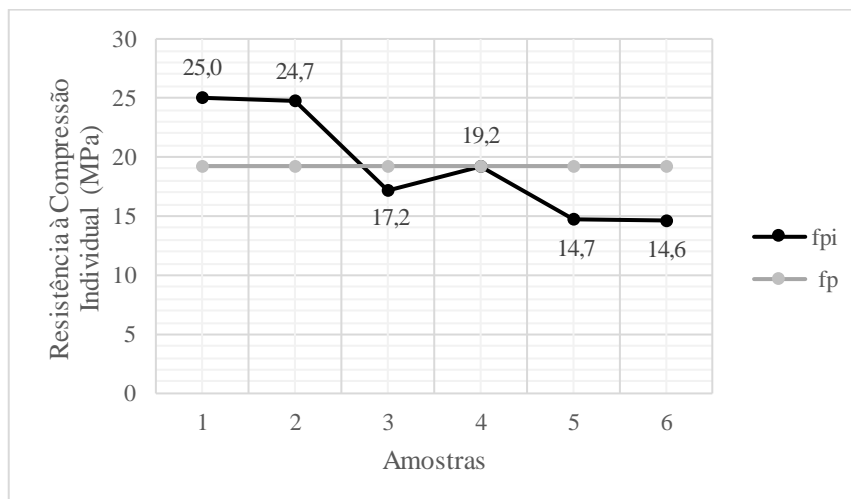
Tabela 12: Resultados individuais do ensaio de resistência à compressão das amostras da Empresa A, apresentando a carga máxima aplicada (Fmáx), área carregada (A), fator ponderador (p), resistência individual calculada (FPI) e a verificação de atendimento ao requisito.

Empresa	F máximo (N)	Área (mm ²)	p (fator)	Requisito (MPa)	fpi (MPa)	Conforme Requisito (S/N)
A	119770	5027	1,05	≥ 35	25,0	Não
	118190				24,7	Não
	82150				17,2	Não
	92030				19,2	Não
	70530				14,7	Não
	70070				14,6	Não

Fonte: Autor (2025).

As resistências individuais (*fpi* MPa) obtidas, oscilaram entre aproximadamente na mínima de 14,6 até a máxima de 25 MPa, demonstrando um padrão reprovado em todas as situações. Esse comportamento indica deficiências sistemáticas no processo produtivo, possivelmente relacionadas a etapas de cura insuficiente, moldagem inadequada ou escolha do traço definido.

Gráfico 4: Variação das resistências individuais (FPI) das seis amostras em relação ao valor médio do lote. O gráfico evidencia quais peças ficaram acima ou abaixo da média obtida.



Fonte: Autor (2025).

O Gráfico 4 acima, evidencia visualmente a dispersão dos dados obtidos em relação ao valor médio calculado para as amostras, na amostragem da empresa A. Duas amostras ficaram acima da média, embora, todas sem exceção, situam-se abaixo do nível aceitável para aplicação em pavimentos urbanos. Não há sobreposição com o valor normativo, e a distribuição se

mantém compacta em valores de baixa resistência de 35 MPa, a distribuição reflete a ausência de peças fora da curva, mas com padrão geral insatisfatório.

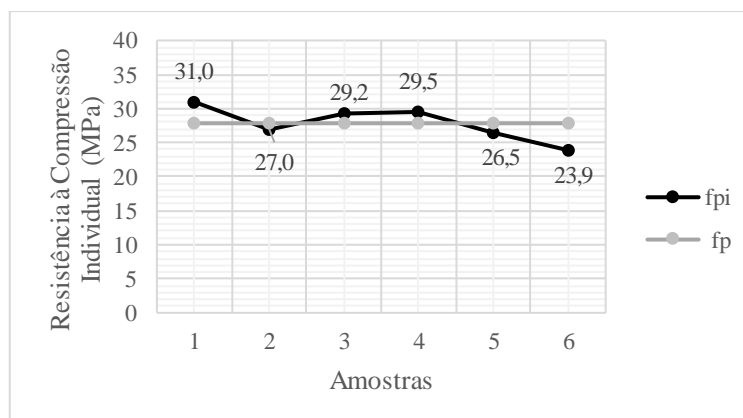
Tabela 13: Dados do ensaio de compressão das peças da Empresa B, incluindo a força de ruptura registrada, área efetiva de carregamento, parâmetro normativo p, resistência FPI obtida para cada amostra e sua respectiva conformidade frente ao limite mínimo exigido.

Empresa	F máximo (N)	Area (mm ²)	p (fator)	Requisito (MPa)	fpi (MPa)	Conforme requisito (S/N)
B	155710	5027	1	≥ 35	31,0	Não
	135850				27,0	Não
	146640				29,2	Não
	148480				29,5	Não
	132980				26,5	Não
	120010				23,9	Não

Fonte: Autor (2025).

No lote da Empresa B exibido na Tabela 13, o cenário se mostra levemente superior ao da Empresa A, mas ainda muito distante do ideal. As peças atingiram resistências variando da mínima de 23,9 a 31 MPa, ou seja, com performasse superior a empresa A, entretanto ainda permanecendo todas fora do critério de aprovação estabelecido pela norma. Ainda que tenha apresentado estabilidade maior na média das resistências, não houve nenhuma amostra aprovada, indicando que ganhos de uniformidade em relação a empresa A, não foram suficientes para compensar o déficit de qualidade geral do produto.

Gráfico 5: Comportamento das resistências individuais à compressão comparadas à média do lote da Empresa B. A curva mostra a dispersão e a uniformidade entre as amostras avaliadas.



Fonte: Autor (2025).

O Gráfico 5 indica que a distribuição relativamente homogênea dos valores, sem grandes desvios ou picos, o que aponta para uma possível consistência no processo produtivo,

porém em um nível muito baixo para as exigências técnicas do uso em tráfego leve. Fica evidente que ajustes no traço do concreto e no processo de fabricação são necessários para buscar médias e valores individuais superior ou igual ao mínimo de 35 MPa.

Para as métricas da Empresa C percebe-se um desempenho significativamente superior em relação as demais empresas analisadas de acordo o que está sendo abordado na Tabela 14.

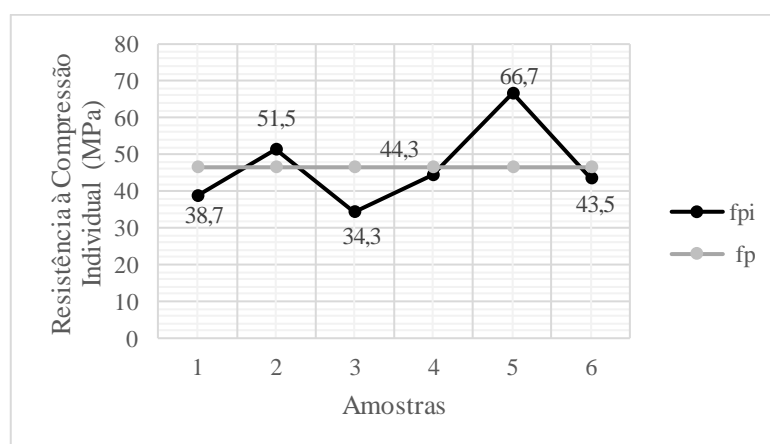
Tabela 14: Resumo das medições de resistência à compressão das amostras da Empresa C, com valores de força máxima, área utilizada no ensaio, fator normativo p, resistência individual FPI e a classificação de conformidade em relação ao requisito de 35 MPa estabelecido.

Empresa	F máximo (N)	Area (mm ²)	p (fator)	Requisito (MPa)	fpi (MPa)	Conforme requisito (S/N)
C	194350	5027	1	≥ 35	38,7	Sim
	259020				51,5	Sim
	172440				34,3	Não
	222580				44,3	Sim
	335150				66,7	Sim
	218800				43,5	Sim

Fonte: Autor (2025).

Observa-se que no espaço amostral da Empresa C, quase todas as amostras ultrapassaram a exigência mínima da normativa, com resistências individuais (*fpi*) variando da mínima de 34,3 MPa até a máxima de 66,7 MPa. Nesse enredo, apenas uma amostra ficou levemente abaixo do limite estabelecido, fazendo com que o lote fosse classificado como praticamente conforme. Essa performance com alta variabilidade (mínima de 34,3 MPa e máxima de 66,7 MPa) como revela o Gráfico 6, pode apontar para um grave descontrole de dosagem ou processo.

Gráfico 6: Distribuição dos valores individuais de resistência (FPI) frente ao valor médio calculado. O gráfico destaca as oscilações entre as amostras da Empresa C dentro do lote analisado.



Fonte: Autor (2025).

A análise do Gráfico 6 ressalta as oscilações dos valores individuais de resistência dentro do lote da Empresa C, que, embora em sua grande maioria superior aos 35MPa estabelecido, revela elevada variabilidade em relação as outras empresas, com picos elevados de resistências com máxima de 66,7 MPa, o que representa 90,57 % a mais de resistência do que estabelece a norma para tráfego leve (35 MPa), e 94,46% a mais de resistência em relação a amostra da Empresa C que apresentou menos resistência com a mínima de 34,3 MPa. Como ilustrado no Gráfico, 5 das 6 amostras, situa-se confortavelmente acima do valor médio e do limite mínimo, o que é um indicativo positivo da capacidade tecnológica desta empresa, entretanto, por outro lado nos leva a indicar a uma perda de insumos, o que evidencia um possível maior consumo de cimento sendo maior do que o ideal, como o caso da amostra de 66,7 MPa.

Sobre a análise dos valores de *f_{pk}* estimado, que é de fato o valor que a norma orienta calcular para a verificação da conformidade com a norma, verifique a Tabela 15 a seguir. Na tabela apresentada para cada empresa a revelação das diferenças significativas na resistência estimada característica dos lotes analisados para as três empresas analisadas (A, B e C).

Tabela 15: Resumo com os valores de *f_{pk}* estimado para cada empresa, incluindo a verificação de conformidade em relação ao requisito mínimo normativo de 35 MPa.

Empresa	f _p (MPa)	s (MPa)	n	t	f _{pk_est} (MPa)	Requisito (MPa)	Conforme Requisito (S/N)
A	19,2	4,7	6	0,92	14,95	≥ 35	Não
B	27,8	2,6			25,48		Não
C	46,5	11,5			35,96		Sim

Fonte: Autor (2025).

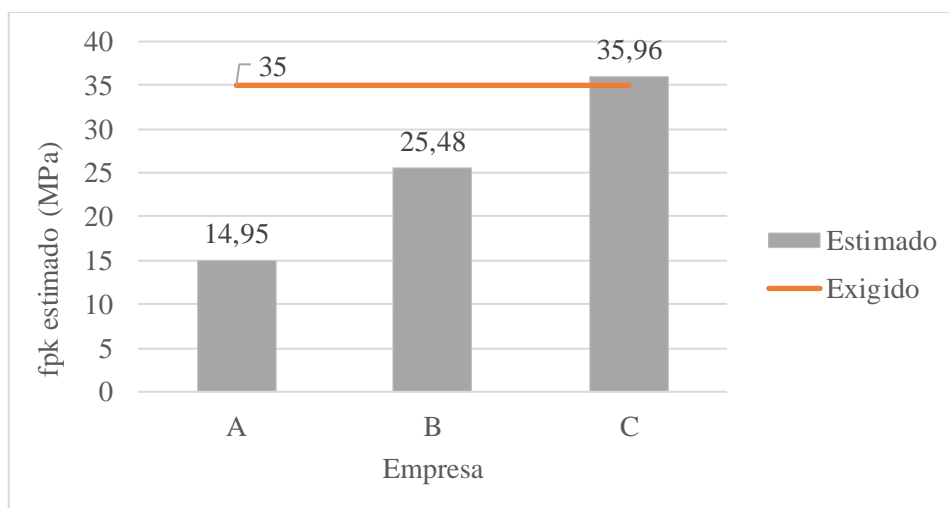
Verifica-se que a Empresa C obteve um *f_{pk}* de 35,96 MPa, superando o limite mínimo exigido pela NBR 9781, o que demonstra um padrão de produção adequado para uso em pavimentação urbana com tráfego leve, entretanto, é importante destacar a elevada variação das resistências individuais das peças dessa empresa, especialmente pela presença de um valor extremamente discrepante, em que uma única amostra contribui de forma significativa para o cálculo da resistência estimada, apresentando 66,7 MPa.

As Empresas A e B apresentaram *f_{pk}*'s inferiores a empresa C, 14,95 MPa e 25,48 Mpa respectivamente, indicando que os materiais produzidos ainda não alcançam a resistência mínima de 35 MPa prescrita pela NBR 9781 para aplicação segura. Esses dados ressaltam a disparidade na capacidade tecnológica e no controle de qualidade entre as empresas,

corroborando a necessidade de aprimoramento nos processos produtivos das empresas A e B para atender aos requisitos normativos.

O Gráfico 7 abaixo, complementa esta análise ao ilustrar visualmente as distâncias entre os valores estimados de f_{pk} das três empresas e o valor mínimo normativo de 35 MPa. A diferença entre os lotes fica explícito, destacando a Empresa C como a única que ultrapassa o limite exigido, enquanto os lotes das Empresas A e B permanecem consideravelmente abaixo da linha de corte. Essa representação gráfica comprova não apenas o desempenho individual das amostras, mas também a uniformidade relativa dos lotes avaliados, já que a Empresa C possui uma margem confortável em relação ao mínimo normativo, sugerindo um controle mais eficaz em sua produção. A clareza deste gráfico reforça a ideia de que possivelmente, para as Empresas A e B, há urgência em ajustes de dosagem, cura e demais procedimentos para garantir a segurança e durabilidade dos *pavers* fabricados.

Gráfico 7: Comparação do f_{pk} estimado das três empresas com o valor mínimo exigido pela norma (35 MPa), evidenciando a distância de cada lote em relação ao requisito, destacando apenas a Empresa C como conforme.



Fonte: Autor (2025).

Realizando uma análise estatística, a Tabela 16 reforça a compreensão sobre a variabilidade das resistências nos lotes analisados. A Empresa C, apesar de alcançar resistência média superior ao requisito, confirmam um coeficiente de variação alto, indicando que algumas amostras possuem desvios significativos, o que pode comprometer a uniformidade do lote. Por outro lado, a Empresa B apresentou menor variabilidade entre as peças, contudo com resistências médias abaixo do limite, o que sugere processos mais homogêneos, porém insuficientes em qualidade.

Tabela 16: Parâmetros estatísticos (média, desvio-padrão e coeficiente de variação) calculados para cada empresa. Permite avaliar a uniformidade e a variabilidade das resistências nos lotes analisados.

Empresa	<i>fpi</i> (MPa)	\bar{X} <i>fpi</i> (MPa)	DP (MPa)	C.V (%)
A	25,0	19,2	4,67	24,25
	24,7			
	17,2			
	19,2			
	14,7			
	14,6			
B	31,0	27,8	2,56	9,20
	27,0			
	29,2			
	29,5			
	26,5			
	23,9			
C	38,7	46,5	11,46	24,64
	51,5			
	34,3			
	44,3			
	66,7			
	43,5			

Fonte: Autor (2025).

No que tange a Empresa A combina baixa resistência média com alta dispersão, revelando inconsistências no processo produtivo e fragilidade no controle de qualidade das peças. Esse cenário de disparidade entre os fabricantes, onde a Empresa C atende à norma enquanto as Empresas A e B apresentam desempenho crítico, corrobora os achados de Zanelato et al. (2018). Autores como Oliveira e Barbosa (2019) e Santos *et al.*, (2020) indicam na literatura que lotes com resistência média baixa associada à alta dispersão, como o observado na Empresa A, refletem deficiências graves nas etapas de dosagem, compactação e cura, exigindo revisão global do processo produtivo. Essa conexão é reforçada por Daniel et al. (2024), que associam tais falhas estruturais à negligência com a relação água/cimento e procedimentos de cura inadequados.

Por outro lado, a análise da Empresa C demonstra que a simples obtenção de valores de resistência acima do mínimo normativo não é suficiente para garantir a eficiência plena. Pesquisas de Santos *et al.* (2020) e Almeida e Silva (2021) alertam que a elevada dispersão entre as amostras, mesmo em lotes aprovados, pode comprometer a estabilidade estrutural do sistema. Além disso, cenários como o da Empresa C, que apresentam amostras isoladas com resistências muito elevadas (picos de 66,7 MPa), são apontados por Oliveira e Barbosa (2019) como pouco eficientes economicamente, pois sugerem consumo excessivo de cimento e falta

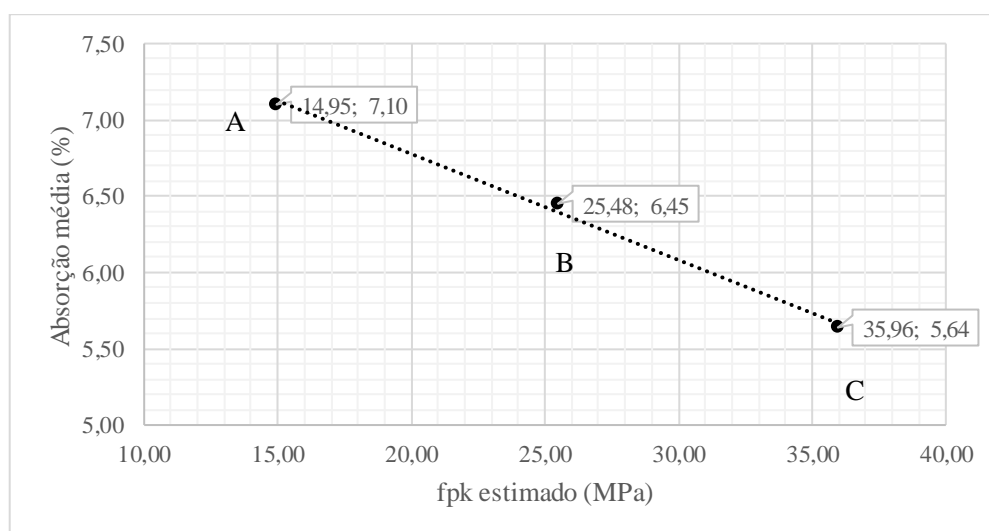
de padronização, corroborando o panorama de desafios no controle de conformidade nacional descrito por Baulé *et al.* (2020).

Em resumo, todos os aspectos estatísticos abordados, assim como os demais dados salientaram que para além de atingirem a resistência mínima, as empresas devem implementar mecanismos para reduzir a variabilidade, garantir lotes homogêneos, confiáveis e que atendam os critérios de desempenho, adotados pela norma vigente, a NBR 9781, (ABNT, 2013).

4.5 CORRELAÇÃO ENTRE ABSORÇÃO DE ÁGUA E RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA ESTIMADA

Os resultados dos ensaios revelaram diferenças expressivas entre os lotes das empresas analisadas quanto à resistência característica estimada e à absorção de água, o que por sua vez motiva investigar a relação entre essas propriedades. A compreensão dessa correlação é fundamental, pois valores elevados de absorção tendem a indicar maior porosidade nos *pavers*, favorecendo o ingresso de água, o que pode resultar em redução da densidade e, conseqüentemente, queda do desempenho mecânico. Dessa forma, é esperado, tanto pela literatura quanto pelos princípios físicos da tecnologia do concreto, um comportamento de tendência inversa entre a absorção média e a resistência à compressão. Para ilustrar esse comportamento, foi elaborado o Gráfico 8, que sintetiza visualmente os resultados encontrados nos três lotes avaliados das três Empresas (A, B e C).

Gráfico 8: Relação entre absorção média (%) e f_{pk} estimado (MPa) para os três lotes analisados, indicando a correlação inversa entre permeabilidade e desempenho mecânico. A linha pontilhada destaca o comportamento tendencial entre as grandezas para as empresas.



Fonte: Autor (2025).

A análise do Gráfico 8 permite observar de forma clara a tendência inversamente proporcional entre os valores de absorção média de água (%) e a resistência (*fpk estimado MPa*) dos *pavers* das três empresas. Os dados indicam que, à medida que a permeabilidade aumenta, o desempenho mecânico das peças diminui de maneira significativa. Este efeito é especialmente notável quando se compara o lote da Empresa C, que apresentou a menor absorção e a maior resistência, e em contrapartida com o lote da Empresa A, que exibiu a maior absorção e o menor valor de *fpk*. A curva representada pela linha pontilhada reforça visualmente o padrão negativo da relação, evidenciando que o controle rigoroso do teor de vazios e da permeabilidade é crucial para garantir peças com elevado desempenho mecânico.

5. CONCLUSÃO

A presente pesquisa proporcionou uma visão aprofundada sobre a qualidade dos *pavers* de concreto fabricados em Barreiras-BA, adotando como fio condutor as recomendações da NBR 9781 (ABNT, 2013) e a aplicação de um programa experimental abrangente fundamentado nas prescrições normativas. O estudo envolveu ensaios práticos para a análise de diferentes lotes fornecidos por três empresas locais (Empresa A, B, C), permitindo uma comparação realista do desempenho dos artefatos oferecidos no contexto regional.

O processo de investigação iniciou-se com a inspeção visual, etapa em que foi constatada a presença recorrente de imperfeições no acabamento superficial das peças, tais como porosidades acentuadas, rebarbas e pequenas lascas, indicadores de possíveis limitações nos processos de moldagem, desforma e acabamento. Nenhuma das empresas apresentou padrão visual completamente homogêneo, o que revela falhas de controle nos detalhes das fases produtivas.

Avançando para a análise dimensional, os resultados indicaram conformidade razoável nas medidas de comprimento e largura, porém expuseram desvios consideráveis na espessura, fator crucial para o desempenho do trabalho e a durabilidade do pavimento. Ressalta-se que todos os índices de forma específicos abaixo do limite máximo admitido, mas a variabilidade em espessura declarou a necessidade de ajustes para redução da não conformidade e melhoria do encaixe entre as peças.

Na análise da absorção de água, identificou-se uma tendência preocupante: diversas amostras, especialmente das empresas A e B, ultrapassaram tanto o limite médio quanto o individual estabelecido pela norma, indicando elevada porosidade e, conseqüentemente, maior suscetibilidade ao ingresso de agentes agressivos, o que pode resultar em perda de desempenho ao longo do tempo. A empresa C foi a única que atendeu aos limites normativos, embora ainda tenha apresentado uma dispersão considerada indesejada. Além disso, a análise estatística revelou coeficientes de variação elevados, reforçando o diagnóstico de irregularidade no processo produtivo.

O ensaio de resistência a compressão axial, colocou em evidência o ponto mais crítico do setor local. As empresas A e B não atingiram o limite mínimo de 35 MPa, apresentando médias significativamente baixas e alta dispersão interna nos lotes. Em contrapartida, a empresa C conseguiu superar a exigência normativa, embora também com certa variabilidade. A tendência inversa apontada entre a absorção de água e a resistência dos *pavers* tornou-se clara,

comprovando que avanços no controle da permeabilidade podem contribuir decisivamente para o aumento da resistência estrutural.

A conjugação dessas não conformidades implica riscos severos ao desempenho do pavimento em serviço. A baixa resistência mecânica aliada às irregularidades físicas potencializa a ocorrência de quebras prematuras dos blocos e deformações permanentes na via. Além disso, a variabilidade dimensional pode ocasionar a perda da capacidade de intertravamento, resultando em uma redução significativa da durabilidade e elevando o risco de falha estrutural sob cargas mais elevadas.

Somando-se às evidências, verifica-se que os resultados obtidos conduziram à rejeição da hipótese de que “os pavers pré-moldados de concreto, fabricados e comercializados no município de Barreiras (BA), apresentam conformidade em relação aos parâmetros visuais, dimensionais, resistência à compressão e absorção de água”. Conclui-se, portanto, que a produção local de *pavers* necessita investir fortemente no aprimoramento do controle tecnológico, na padronização dos processos e na qualificação dos profissionais envolvidos. O cenário atual, embora demonstre potencial de avanço, revela um distanciamento importante dos requisitos técnicos estabelecidos para aplicações de maior responsabilidade e tráfego.

As descobertas do trabalho reforçam a importância dos ensaios sistemáticos, da integração entre métodos de controle normativo e da pesquisa aplicada como ferramentas de transformação da realidade fabril. Espera-se que os dados e reflexões apresentados sirvam de base para realinhamento de práticas, embasamento de decisões de fabricantes, órgãos públicos e incentivo a novos estudos, sempre com vistas à valorização da pavimentação intertravada como solução segura, eficiente e compatível com o desenvolvimento e qualidade urbana.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como caminhos para a possível elaboração de trabalhos futuros, que podem contribuir para o aprimoramento dos estudos sobre *pavers* de concreto na cidade de Barreiras-BA, considerando as limitações e potencialidades observadas no presente trabalho, são sugeridos:

- Estudo comparativo de métodos de produção: Realização de uma análise envolvendo diferentes métodos de fabricação, avaliando tanto peças produzidas industrialmente quanto aquelas resultantes de processos artesanais ("dormidas"). O objetivo seria identificar as implicações dessas diferentes abordagens quanto à resistência, absorção e homogeneidade, avaliando também a produtividade e viabilidade no cenário local.

- Caracterização mineralógica e granulométrica: Investigação detalhada das matérias-primas, englobando análises granulométricas específicas dos agregados utilizados por cada empresa. Sugere-se o acompanhamento voltado para os traços e a análise do impacto das diferentes frações minerais no desempenho físico-mecânico das peças.
- Análise dos componentes do concreto e do cimento: Avaliação específica do tipo de Cimento Portland (CP) utilizado pelas fábricas locais, bem como de eventuais aditivos. Uma vez que a escolha do ligante é crucial para a evolução da resistência e durabilidade, recomenda-se estudar a compatibilidade e o desempenho dos tipos de cimento disponíveis na região frente às demandas de produção de *pavers*.
- Controle e monitoramento da cura: Proposição de estudos de campo para monitorar, *in loco*, o processo de cura nos pátios das empresas. A investigação deve focar na eficiência dos métodos de manutenção da umidade e temperatura das peças recém-moldadas, verificando a influência dessas práticas na redução da porosidade superficial e no ganho de resistência.
- Estudo de custos e eficiência de material: Desenvolvimento de uma análise econômica correlacionando a variabilidade da resistência (como a observada na Empresa C) com o custo da matéria-prima, especificamente o cimento. O objetivo seria quantificar o desperdício financeiro gerado pelo consumo excessivo de cimento necessário para compensar a falta de controle tecnológico e a alta dispersão dos resultados.
- Estudos de acompanhamento revisional: Elaboração de pesquisas com abordagem semelhante à deste trabalho, na intenção de avaliar, ao longo do tempo, os avanços ou retrocessos no padrão produtivo das empresas locais, analisando as tendências, a evolução das tecnologias e as mudanças nos índices de conformidade e desempenho normativo.

A implementação dessas linhas de pesquisa poderá fortalecer o controle tecnológico regional, incentivando boas práticas e a evolução normativa alinhada às demandas do mercado e às tendências atuais na região.

REFERÊNCIAS

- ALCANTARA, Maria Regilene Gonçalves de. **Estudo da utilização de cinzas pesadas de termoelétricas para produção de blocos de concreto para pavimentos intertravados**. 2018. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- ALENCAR, Leonardo Santana de. **Análise da utilização do pavimento intertravado no município de Lavras da Mangabeira-CE: um estudo de caso**. 2024. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2024.
- ALMEIDA, Lívia Ferreira; SILVA, Rodrigo Bastos. Avaliação da incorporação de destruição de corte de mármore e granito em concreto para produção de pisos intertravados para pavimentação. *Revista Ifes Ciência*, Vitória, v. 2, pág. 60–78, 2021.
- ALVES, Gustavo de Andrade. **Pavimentação com blocos intertravados**. 2023. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário Sagrado Coração, Bauru, 2023.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **C 979/C 979M**: Standard Specification for Pigments for Integrally Colored Concrete. 2022.
- ARAÚJO, Thais Cristina Bastos de; DOURADO, Harerton. Avaliação de desempenho de pavers intertravado produzidos com rejeitos gerados nos desdobramentos de rochas ornamentais. **REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, [S. l.], v. 15, n. 2, p. 245-261, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual de Pavimento Intertravado: Passeio Público**. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, 2010. 36 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781**: Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland: preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

BATISTA, Larissa Santana. **Efeitos da incorporação de resíduos da mineração nas propriedades físicas, mecânicas e de durabilidade em pavimentos intertravados**. 2022. 151 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) — Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2022.

BARRETO, Regislaine Damasio; DEL RIO, Marina Rico Toro; GONÇALVES, Erika Peterson. Produção de pavimento intertravado com a utilização de resíduos da construção civil como agregado miúdo. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 20., 2016, São José dos Campos. **Anais eletrônicos...** São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, 2016. p. 1-6.

BAULÉ, Sofia de Souza; THIVES, Liseane Padilha; ROHDE, Luciana. **Avaliação qualidade de pavimentação intertravada: fabricação de blocos, dimensionamento e execução**. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE – ANPET, 34., 2020, Online. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: ANPET, 2020.

BITENCOURT, Ramon Gustavo Santos; ARNS, Pedro. **Dimensionamento de pavimento flexível intertravado para tráfego muito pesado**. Criciúma: Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil).

BRITO, Isabel Samara. **Aplicação da metodologia Paver para análise de condição do pavimento em trecho da RN-233**. 2016. 74 f. Monografia (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas-RN, 2016.

CANDEA, Rafael Venâncio. **Potencial de reaproveitamento de resíduos sólidos de classe “A” da construção civil para pavimento intertravado**. 2021. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Christus, Fortaleza, 2021.

CHAVES, Felipe Santos; BARBOSA, Jhoys Lane Dias. **Estudo de paver em condomínios fechados na região metropolitana: uma ideia de sustentabilidade**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Goiás, Goiânia, 2019.

CORREIA, Amanda Pereira. **Caracterização física e mecânica de pavers com substituição parcial do aglomerante por resíduos vítreos**. 2022. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2022.

DANIEL, Santiago Rezende *et al.* **Estudo de caso: manifestações patológicas de pavimento intertravado no município de Passos-MG**. **Caderno Pedagógico**, [S. l.], v. 21, n. 6, 2024. DOI: 10.54033/cadpedv21n6-002.

FAUSTINO, Renata Cristina; ALTRAN, Daniele Araujo. Análise das propriedades de peças pré-moldadas de concreto para pavimentação intertravada com polietileno tereftalato (PET). **Colloquium Exactarum**, Presidente Prudente, v. 16, p. 1-15, 2024.

FILGUEIRAS, Gabriela Chaves. **Comparação entre os projetos de pavimento asfáltico e pavimento intertravado para fins de execução do sistema viário de um condomínio horizontal em Senador Canedo**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, 2019, 90 f.

FIORITI, C. F. **Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo**. 2007. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

FRANCELINO, Martônio José Marques; BARBOSA, Fred Rodrigues; MOTA, João Manoel de F. **Avaliação da eficiência no comportamento mecânico de pavers produzidos com o uso de sílica ativa**. In: DUARTE, Armando Dias (Org.). **Engenharia civil: demandas sustentáveis e tecnológicas e aspectos ambientais 2**. Ponta Grossa, PR: Atena, 2022. p. 90-102.

GOMES, Roney da Silva. **Durabilidade e eficiência na pavimentação de vias públicas com blocos intertravados de concreto: estudo de caso na praça Eloy Coelho e suas principais vias de acesso na cidade de Balsas-MA**. 2024. 77 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Maranhão, Balsas-MA, 2024.

MATOS, Lucas Henrique Lozano Dourado de. **Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de PET**. 2019. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Ilha Solteira, 2019.

MENEGHETTI, Leandro Marcos; SOUSA, Giana Laport Alves de; PIRES, Gisele Dornelles. **Pavimento intertravado de concreto em vias urbanas Bairro Campo Lindo, Seropédica – R.J.** Revista Engenharia, Meio Ambiente e Inovação, Nova Iguaçu, v. 10, n. 1, p. 91-101, jan. 2023

MEURER, Karine Weber. **Avaliação do comportamento térmico e mecânico de pavers com adições de resíduos**. 2023. 131 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2023.

MORAIS, Thaísa Vivianne Barbosa de Lucena. **Estudo da viabilidade técnica da incorporação de pó de brita granítica na produção de pavimento intertravado de**

concreto. 2022. 142 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) — Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2022.

NASCIMENTO, Francisco Raimundo; ALMEIDA, Ana Paula; SOUZA, Tiago Lopes. Influência de adições minerais na elevação da temperatura de concretos de alta resistência. **Revista Matéria**, v. 26, n. 1, p. 1–13, 2021.

OLIVEIRA, Juliana Pereira de; BARBOSA, Adriana Paula. Elaboração e caracterização de blocos de concreto com incorporação de resíduos de granito. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, Palhoça, v. 3, pág. 116–132, 2019.

PAIVA, Dannylo Soares. **Caracterização do bloco intertravado de concreto produzido por uma empresa localizada em Riacho da Cruz/RN**. 2019. 72 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2019.

PAOLOILLO, Francesca Romana; PONTISSO, Mara; ROASCIO, Stefano (organizadores). *Patrimonium Appiae. Depósito emersi. Quingentole: SAP Societ Archeologica*, 2022. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/96549939/patrimoniumppiae_2022_lr_2-libre.pdf. Acesso em: 9 dez. 2025.

PINHEIRO, Jaiana de Araújo. **Avaliação do desempenho da resistência mecânica de pavimentação de pisos intertravados com incorporação de resíduos de vidro**. 2024. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2024.

RIBEIRO, José Carlos *et al.* Atividade pozolânica de adições minerais para cimento Portland (Parte I). **Revista Matéria**, v. 22, n. 3, p. 1206–1215, 2017.

SALBEGO, Ricardo Ispanhol; GIRARDI, Ricardo. Análise de concretos para peças de pavimentação preparados com agregado reciclado e natural. **R. Eletr. Cient. Inov. Tecnol.**, Medianeira, v. 9, n. 23, p. 141-158, set./dez. 2018. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/recit>. Acesso em: 08-07-2025.

SAMPAIO, Matheus Caetano. **Análise comparativa entre pavimento asfáltico e pavimento intertravado**. 2016. 66 f. Trabalho de Graduação (Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2016.

SANTOS, Viviane Carvalho dos; NASCIMENTO, Fernanda Mendes do; DAL MOLIN, Denise Carpena Coitinho; FERNANDES, Douglas; CAMPOS, Thaís Costa. Desempenho técnico de blocos de concreto para pavimentação fabricados com incorporação parcial de

destruição de granito. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, Palhoça, v. 2, pág. 315–335, 2020.

SCHVAICKARDT, Charles Miguel; MATTOS, João Rodrigo Guerreiro. Proposta de traço para blocos de concreto de pavimento intertravado. **Tecno-Lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 22, n. 2, p. 157-166, jul./dez. 2018.

SILVA, Cláudio Oliveira. **Sistema de piso com peças de concreto: pavimento intertravado: manual de desempenho**. 1. ed. São Paulo, SP: Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP; Associação Brasileira da Indústria de Blocos de Concreto – BlocoBrasil, 2022. E-book. ISBN 978-85-87024-86-2.

SILVA, E. R.; ALMEIDA, M. O.; FRANCO, L. S. *Estudo da adição de fibras kraft nas propriedades químicas e microestruturais de matrizes cimentícias*. *Revista Matéria*, v. 28, n. 2, p. 1–10, 2023.

SILVA, Emerson Rodrigues; ALMEIDA, Mariana Oliveira; FRANCO, Lucas Souza. Estudo da adição de fibras kraft nas propriedades químicas e microestruturais de matrizes cimentícias. **Revista Matéria**, v. 28, n. 2, p. 1–10, 2023.

SILVA, Fabiana Maria da *et al.* Avaliação da resistência mecânica de pisos intertravados de concreto sustentáveis (PICS). **Revista Matéria**, v. 22, n. 1, p. 1-10, 2017.

SOUSA, Maycon Douglas Pereira de; COELHO, Daniela da Costa Leite. **Análise comparativa de desempenho entre peças de pavimentos intertravados usando fibra de politereftalato de etileno (PET) e pó de vidro**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2021.

TOLEDO, Jessica Marina Signorelli. **Avaliação físico-química da utilização de areias descartadas de fundição na fabricação de pavimento intertravado de concreto**. 2017. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

WIEBBELLING, Paula Orvana Guimarães. **Pavimento com blocos intertravados de concreto: estudo de caso na Univates**. 2015. 68 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) — Centro Universitário Univates, Lajeado, 2015.

ZANELATO, Euzébio Bernabé; AZEVEDO, Jonas Alexandre Afonso Rangel Garcez de; MARVILA, Markssuel Teixeira; XAVIER, Gustavo de Castro; CERQUEIRA, Niander Aguiar; MONTEIRO, Sergio Neves; PETRUCCI, Lúcio José Terra. **Estudo de caso: avaliação do desempenho dos blocos de concreto para pavimentação do Instituto Federal**

Fluminense. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 73., 2018, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: ABM, 2018.