



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE PATOS
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

CLAUBER DIEGO BARBOSA DE ALMEIDA

**ANÁLISE DE PAVIMENTOS EM PARALELEPÍPEDOS NO MUNICÍPIO DE
CONDADO-PB**

PATOS
2022

CLAUBER DIEGO BARBOSA DE ALMEIDA

**ANÁLISE DE PAVIMENTOS EM PARALELEPÍPEDOS NO MUNICÍPIO DE
CONDADO-PB**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação,
submetido ao curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Centro UNIFIP, campus
Patos, como parte dos requisitos para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Msc. Priscila Maria Sousa
Gonçalves Luz

PATOS
2022

FICHA CATALOGRÁFICA
Dados de Acordo com AACR2, CDU e CUTTER
Biblioteca Central - UNIFIP

Almeida, Clauber Diego Barbosa de.
A286a Análise de Pavimentos em Paralelepípedos no Município de
Condado-PB. / Clauber Diego Barbosa de Almeida. – Patos –
PB:UNIFIP, 2022
52 fls.

Orientador (a): Prof. Priscila Maria Sousa Gonçalves Luz
Monografia Graduação Bacharelado em Engenharia Civil

1. Pavimentação urbana; 2. Engenharia civil; 3. Infraestrutura;
4. Execução. I. Título.II. CEESP/UNIFIP

UNIFIP/BC

CDU: 624

FOLHA DE APROVAÇÃO

CLAUBER DIEGO BARBOSA DE ALMEIDA

ANÁLISE DE PAVIMENTOS EM PARALELEPÍPEDOS NO MUNICÍPIO DE CONDADO-PB

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do UNIFIP Centro Universitário, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 02 de junho de 2022.

Banca Examinadora:



Prof. Msc. Priscila Maria Sousa Gonçalves Luz

Orientadora (UNIFIP Centro Universitário)



Prof. Msc. Rivaldo da Silva Filho

Avaliador Interno (UNIFIP Centro Universitário)



Prof. Msc. Camila Gonçalves Luz Nunes

Avaliador Externo (UFPB)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, pelo esforço, amor e compreensão, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado sabedoria durante o processo de elaboração desse trabalho e durante toda a minha vida acadêmica, me livrando de todo mal. A Ele toda a glória.

Aos meus pais Carlos e Selma, maiores incentivadores, que sempre me fizeram entender que o futuro é feito a partir da constante dedicação no presente, terão minha eterna gratidão.

Aos meus irmãos e à minha namorada, que se fizeram presentes nas horas mais difíceis, pela paciência, palavras de conforto e confiança no nosso futuro.

A minha orientadora, Priscila Luz, pelos ensinamentos, contribuição e colaboração durante a realização desta pesquisa.

Aos colegas de curso, pela amizade e companheirismo ao longo dessa jornada.

“O preço da grandeza é a responsabilidade! ” (Winston Churchill)

RESUMO

Mobilidade urbana é um tema que cada vez mais vem sendo discutido na atualidade e as iniciativas nesse universo devem prever soluções práticas e econômicas, que gerem benefícios para os cidadãos. O pavimento, um dos fatores para a qualidade da infraestrutura urbana, é a via de acesso indispensável para garantir o direito de ir e vir. Desse modo, este trabalho tem como objetivo analisar o método construtivo adotado na implantação de pavimentação em paralelepípedos no município de Condado por meio de pedras de granito e pedras de calcário com base no acompanhamento das etapas construtivas de implantação. Foram realizadas coletas de amostras da argamassa de rejuntamento para a determinação da resistência à compressão de corpos de provas cilíndricos no laboratório de materiais do curso de engenharia civil do Centro Universitário de Patos-UNIFIP, análise de espaçamento entre as juntas longitudinais e transversais e feito o levantamento da quantidade e dos tipos de manifestações patológicas presentes nos pavimentos. O ensaio de resistência à compressão da argamassa de rejuntamento apresentou resistências médias de 7,48 MPa, 9,43 MPa, 9,82 MPa e 10,31 MPa para as idades de 7, 16, 21 e 28 dias, respectivamente. Verificou-se a falta de intertravamento entre as peças ocasionado pela distância acima de 3cm nos dois tipos de pavimentos e observou-se que a patologia com maior ocorrência são as juntas com desgaste ou sem preenchimento com 37,5%, seguida por painéis com 22,5% e que somadas, estas representam 60% de todas as manifestações patológicas presentes nos pavimentos. Quando se compara os pavimentos pelo tipo de pedra utilizada no seu revestimento, o pavimento por meio de pedras calcárias é responsável por 85% dessas manifestações. Contudo, pode-se concluir que o método executivo da implantação de pavimentos em paralelepípedos apresenta desconformidades, resultando em uma maior manutenção no pavimento por meio de pedras de calcário.

Palavras-chave: Pavimentação urbana; Engenharia civil; infraestrutura; execução.

ABSTRACT

Urban mobility is a topic that is increasingly being discussed today and initiatives in this universe must provide practical and economic solutions that generate benefits for citizens. The pavement, one of the factors for the quality of urban infrastructure, is the indispensable access route to guarantee the right to come and go. Thus, this work aims to analyze the constructive method adopted in the implementation of cobblestone paving in the municipality of Condado using granite and limestone stones based on the monitoring of the construction stages of implementation. Samples of the grouting mortar were collected to determine the compressive strength of cylindrical specimens in the materials laboratory of the civil engineering course of the University Center of Patos-UNIFIP, spacing analysis between the longitudinal and transverse joints was carried out and the survey of the quantity and types of pathological manifestations present in the pavements. The test of compressive strength of the grouting mortar showed average strengths of 7.48 MPa, 9.43 MPa, 9.82 MPa and 10.31 MPa for the ages of 7, 16, 21 and 28 days, respectively. It was verified the lack of interlocking between the pieces caused by the distance above 3 cm in the two types of floors and it was observed that the pathology with the highest occurrence are the joints with wear or without filling with 37.5%, followed by pans with 22.5% and that together, these represent 60% of all pathological manifestations present in the pavements. When the pavements are compared by the type of stone used in their coating, the pavement using limestone is responsible for 85% of these manifestations. However, it can be concluded that the executive method of implantation of pavements in cobblestones presents non-conformities, resulting in a greater maintenance of the pavement by means of limestone.

Keywords: Urban paving; civil engineering; infrastructure; execution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Seção transversal do pavimento	19
Figura 2: Estrutura de pavimentos.....	21
Figura 3: Tipos de revestimento do pavimento flexível	23
Figura 4: Dimensionamento Pavimento em Paralelepípedos	24
Figura 5: Pavimentação pelo método convencional	25
Figura 6: Método Bripar	26
Figura 7: Localização do município de Condado-PB.....	31
Figura 8: Fluxograma de etapas de realização do trabalho.	32
Figura 9: Imagem aérea do município de Condado com a localização das ruas objeto de estudo.....	33
Figura 10: Prensa de ensaio de determinação da resistência a compressão	34
Figura 11: Espaçamento entre as juntas longitudinais e transversais de pavimentação com pedra calcária.	35
Figura 12: Espaçamento entre as juntas longitudinais e transversais de pavimentação com pedras graníticas.	36
Figura 13: Valores Médios de Resistência à Compressão Axial de Argamassa de Cimento Portland.....	38
Figura 14: Valores Individuais de Resistência à Compressão Axial de Argamassa de Cimento Portland.....	39
Figura 15: Medidas de espaçamento de juntas de pavimento com pedras graníticas.....	41
Figura 16: Medidas de espaçamento de juntas de pavimento com pedras calcária.....	43
Figura 17: Juntas sem preenchimento com aparecimento de Painéis	44
Figura 18: Percentual de patologias dos pavimentos.....	45
Figura 19: Percentual de patologias pelo tipo de revestimento	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tipos de Patologias e níveis de severidade	28
Tabela 2: Idade de rompimento de Corpos de provas	34
Tabela 3: Resultado de Ensaio de Resistência a Compressão Axial.....	38
Tabela 4: Tipos de patologias identificadas e frequência de ocorrências.....	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	15
1.2	JUSTIFICATIVA	15
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	OBJETIVO GERAL	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1	PAVIMENTAÇÃO	17
3.2	HISTÓRIA DA PAVIMENTAÇÃO NO BRASIL	19
3.3	CLASSIFICAÇÃO DO PAVIMENTO	20
3.4	PAVIMENTAÇÃO EM PARALELEPÍEDOS	23
3.4.1	Método Convencional	25
3.4.2	Método Bripar	25
3.4.3	Vantagens e Utilização	27
3.5	DEFEITOS MAIS FREQUENTES E PROVÁVEIS CAUSAS	27
4	METODOLOGIA	31
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	31
4.2	DESCRIÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO	31
4.3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	32
4.4	MÉTODOS	32
4.4.1	Análise de argamassa de rejuntamento.....	33
4.4.2	Análise de espaçamento entre pedras	35
4.4.3	Levantamento de patologias	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
5.1	DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA à COMPRESSÃO da argamassa de rejuntamento	38

5.2	ESPAÇAMENTO DAS JUNTAS LONGITUDINAIS e TRANSVERSAIS	40
5.2.1	Pavimento com pedra granítica	40
5.2.2	Pavimento com pedra calcária	42
5.3	Manifestações PATOLÓGICAS	43
6	CONCLUSÃO	48

1 INTRODUÇÃO

A construção de rodovias configura-se como uma das primeiras atividades de engenharia a surgir na história da humanidade, muito embora essas construções e o dimensionamento de pavimentos começaram a ser analisados racionalmente somente em épocas recentes.

Até a década de 1920, mesmo em países mais desenvolvidos tecnicamente como o Reino Unido e os Estados Unidos, a espessura de um pavimento era determinada puramente com base na experiência, adotando-se muitas vezes o mesmo valor para trechos com subleitos muito diferentes. Com o passar dos anos e o acúmulo de experiências, vários métodos de dimensionamento de pavimento foram desenvolvidos (NUÑES, 1997).

Devido ao crescimento populacional que as cidades vêm tendo nos últimos anos, existe a necessidade de maiores deslocamentos e com o aumento da frota de veículos em vias urbanas, estas encontram-se, em grande parte, em condições precárias de uso. Contudo, com o avanço de estudos na área de pavimentação é possível encontrar soluções viáveis técnica e economicamente que possibilitem segurança e conforto aos usuários.

A pavimentação de vias aparece sendo uma alternativa a melhoria das condições de trafegabilidade de veículos e pessoas, oferecendo mais conforto e segurança aos seus usuários. Em um mundo globalizado, independentemente do tamanho da cidade e sua população, é necessário haver vias pavimentadas para se locomover de forma mais confortável e com maior agilidade (BASTOS, 2019). Carvalho (2011) cita que mesmo com a necessidade da pavimentação, na maioria das cidades brasileiras de pequeno porte geralmente a execução das vias urbanas são desprovidas de um estudo da região, planejamento e dimensionamento, esta situação ocasiona a menor vida útil dos pavimentos, alto custo de manutenção e maior degradação ambiental. Para um desempenho satisfatório da implantação do pavimento, é fundamental um estudo prévio do local de forma que com o conhecimento do material utilizado e dados para dimensionar a estrutura do pavimento, seja possível a análise do melhor tipo de pavimento que será implementado neste local, reduzindo custos e posterior manutenção (SIQUEIRA, 2018).

O pavimento em paralelepípedo é uma peça de pedra com formato de base quadrada, que oferece uma boa duração, rápida execução e manutenção. Pode ser empregada mão de obra semiqualiificada (calceteiros) e sem qualificação (ajudantes) por meio de pequena estrutura, em administração direta, ou por meio de pequenos empreiteiros ou subempreiteiros locais, num ritmo compatível com o aporte de recursos, otimizando o aproveitamento da mão de obra

segundo as peculiaridades e sazonalidades da economia de cada região. Os materiais utilizados para a execução do calçamento são disponíveis em locais próximos às obras, constituídos de rochas duras, de estrutura massiva, são ou levemente intemperizadas e cortadas na forma de poliedros irregulares ou regulares e sua obtenção pode ser realizada a qualquer tempo e sob qualquer clima, além de permitir a estocagem do produto em qualquer condição e por períodos de tempo determinados exclusivamente por fatores de conveniência político-administrativa (PELLENZ, 1983).

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O município de condado, estado da Paraíba, vem passando por uma significativa transformação de sua infraestrutura nos últimos seis anos, isso devido a grande quantidade de pavimentação que está sendo implantada em sua zona urbana. O pavimento construído é do tipo paralelepípedos sobre colchão de areia, onde são utilizadas pedras de granito e pedras calcárias para diferentes trechos e ruas. Observou-se que a pavimentação a partir de pedras de calcário tem-se desgastado com maior frequência quando comparada a pedra de granito, causando transtornos aos seus usuários e gerando uma maior manutenção desse tipo de pavimento. Tendo em vista a importância da pavimentação para a melhoria da infraestrutura das cidades, o desenvolvimento desse trabalho visa identificar qual ou quais os fatores que potencializam esse desgaste e se estes acontecem isoladamente ou existe uma combinação de fatores para que isso aconteça.

1.2 JUSTIFICATIVA

A presente pesquisa torna-se relevante em razão do atual cenário de transformação da infraestrutura urbana ao qual passa o município de Condado, pois é fundamental um estudo que investigue os materiais utilizados e os procedimentos adotados na implantação desses pavimentos. O revestimento deve ser projetado para resistir às intempéries e às ações de rolamento dos veículos, proporcionando o devido conforto e segurança aos usuários que trafegam por essas vias, porém quando não há uma execução ou uma manutenção de forma correta suas funções acabam sendo perdidas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a eficiência do método construtivo adotado na implantação de paralelepípedos no município de condado por meio de dois tipos: pedras de granito e pedras de calcário.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a resistência da argamassa de assentamento;
- Examinar o espaçamento entre as juntas longitudinais e transversais;
- Identificar quais fatores contribuem para o desgaste frequente do pavimento quando implantado com pedras calcárias.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PAVIMENTAÇÃO

O pavimento é uma estrutura em camadas construída sobre uma fundação denominada de subleito. De modo geral, as camadas mais próximas da superfície têm melhores características e custos mais elevados. Do ponto de vista estrutural a camada mais importante é a base, pois é sobre ela que está a camada de rolamento, que suporta os efeitos destrutivos do tráfego e das intempéries. Abaixo da base, como transição de subleito, pode haver uma sub-base e ainda um reforço do subleito (ODA, 2000).

Silveira (2003) afirma que pavimento é a superfície lisa e impermeável sobre a qual os veículos circulam sob a camada de desgaste, é aquela mais superficial e proporciona a resposta espectral. Entre os tipos mais comuns de pavimento de desgaste destacam-se paralelepípedos ou placas de rocha dura, agregado impregnado de asfalto, concreto, brita, etc. O pavimento, por injunções de ordem técnico-econômicas é uma estrutura de camadas em que materiais de diferentes resistências e deformabilidades são colocados em contato resultando em um elevado grau de complexidade no que respeita ao cálculo de tensões e deformações e atuantes nas mesmas resultantes das cargas impostas pelo tráfego (BRASIL, 2006).

Do ponto de vista funcional, o pavimento tem a tarefa de suportar o tráfego e oferecer aos usuários segurança, conforto e economia. Essa função está intimamente ligada ao estado da superfície de rolamento. A evolução das condições de rolamento, por sua vez, depende das intempéries do ambiente, do tráfego e também das características da estrutura do pavimento (ODA, 2000).

Toda a estrutura do pavimento é formada por camadas com comportamentos elásticos derivados das cargas que impõe deformações, deslocamentos e tensões. Cada camada do pavimento tem sua finalidade específica e todas em conjunto resultam em resistir aos esforços de rolamento (MORAES, 2017).

O pavimento é constituído por camadas: subleito, reforço do subleito, sub-base, base e revestimento. Nessas camadas podem ser utilizados materiais como: brita graduada simples, macadame hidráulico, macadame seco, solo agregado, rachão, dentre outros. Os usos desses materiais são de acordo com a necessidade da via e a disponibilidade na região (ODA, 2016). Na camada do subleito, os esforços impostos sobre sua superfície serão aliviados em sua profundidade (normalmente se dispersam no primeiro metro). Deve-se, portanto, ter maior preocupação com seus estratos superiores, onde os esforços solicitantes atuam com maior importância. O subleito será formado de material natural consolidado e compactado (BALBO,

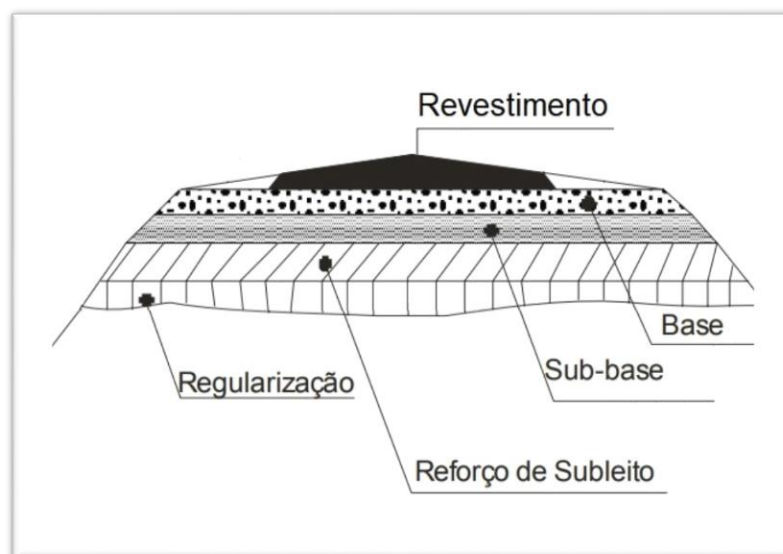
2007).

A camada de regularização acima do subleito é normalmente indicada quando o terreno de fundação necessita de uma modelagem para o recebimento das camadas predominantes do pavimento, prevenindo desníveis ao mesmo (SIQUEIRA, 2018). O emprego de camada de reforço de subleito não é obrigatório, pois espessuras maiores de camadas superiores poderiam, em tese, aliviar as pressões sobre um subleito medíocre. Contudo, procura-se utilizar este reforço em tais circunstancias por razões econômicas, pois subleito de resistência baixa exigiriam, para alguns tipos de pavimentos (especialmente aos flexíveis), do ponto de vista de projeto, camadas mais espessas de base e sub-base. Logicamente, o reforço de subleito por sua vez resistirá a solicitações de maior ordem de grandeza, respondendo parcialmente pelas funções do subleito e exigindo menores espessuras de base e sub-base sobre si, sendo em geral menos custoso o emprego de solos de reforço, em vez de maiores espessuras de camadas granulares ou cimentadas quaisquer que sejam (BALBO, 2007).

De acordo com Senço (2007) a sub-base é a camada complementar à base, quando por circunstancias técnicas e econômicas, não for aconselhável construir uma base diretamente sobre a regularização ou subleito.

A base é a camada mais importante da estrutura do pavimento, pois fica localizada logo abaixo do revestimento do pavimento, seja rígido ou flexível, pois será responsável pelo suporte estrutural do pavimento tendo que dissipar as cargas para as próximas camadas, reduzindo sua intensidade. Caso a qualidade da base não seja boa será muito provável que aconteça algum dano a esse pavimento (MARQUES, 2006). Senço (2007) ainda afirma que a base é uma camada a resistir aos esforços verticais originados do tráfego e distribuí-los. O pavimento pode ser considerado como sendo um composto de base e revestimento, a base pode ou não ser complementada com a sub-base e pelo reforço do subleito.

Quanto ao revestimento da infraestrutura, também chamada como capa ou camada de desgaste, possui uma série de informações relacionada ao seu tipo de revestimento quando se trata de técnicas construtivas e custos, sendo diferenciados quanto a sua classificação entre pavimentos rígidos e flexíveis (SIQUEIRA, 2018). A Figura 1 ilustra o esquema da seção transversal do pavimento.

Figura 1: Seção transversal do pavimento

Fonte: DNIT, 2006.

Existem diversos tipos de pavimentos diferenciados pelo tipo de material empregado na sua constituição. Quando expostos ao tráfego, condições climáticas e outros desgastes, cada tipo irá reagir com um comportamento próprio, alguns resistirão por mais tempo enquanto outros apresentarão patologias em pouco tempo de uso (GONZALEZ, 2017).

3.2 HISTÓRIA DA PAVIMENTAÇÃO NO BRASIL

De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes-DNIT a origem da primeira Estrada de Rodagem do Brasil, maior obra de engenharia na América Latina em seu tempo, deu-se a 7 de agosto de 1852 quando o visionário Mariano Procópio obteve graças ao decreto do governo imperial nº 1.301, a autorização para a construção, melhoramento e conservação de duas linhas de estradas.

O empreendimento, considerado por muitos como impossível de ser realizado, foi iniciado em 12 de abril de 1856, com a presença e o incentivo de D. Pedro II. A primeira estrada macadamizada do continente pôde ser concluída a 23 de julho de 1861. Nascia, assim, a rodovia União Indústria, com 144 km de extensão sendo 96 km no estado do Rio de Janeiro e 48 km em Minas Gerais. Além disso, é importante mencionar que ela foi construída por engenheiros alemães. A construção das estradas está ligada diretamente com o desenvolvimento da população, começando apenas efetivamente a abertura das malhas rodoviárias a partir da década de 50 com o advento das fábricas de automóveis e do automóvel propriamente dito (DNIT, 2006). No Brasil, o modal rodoviário foi priorizado em detrimento de outros modais por meio de planos nacionais como o Plano Geral Nacional de Viação, de 1934, e o Plano Rodoviário

Nacional, de 1944, os quais representaram guias gerais para as entidades estaduais elaborarem outros planos que permitiam a definição das rodovias estaduais a partir das federais e das conexões entre os sistemas federal e estaduais (PEREIRA, 2015). A pavimentação urbana no Brasil sofreu um acentuado impulso, desde a promulgação da constituição em 1988, dada a melhor organização dos municípios brasileiros, bem como pelo início de destinação de verba, pelo governo federal, para as prefeituras executarem obras de infraestrutura (PREGO, 2001).

Pereira (2015) destaca que a situação das rodovias brasileiras está muito aquém das existentes em países desenvolvidos, e que o Brasil possui um dos maiores índices de transporte de carga por rodovias do mundo, com um agravante: o baixo estado de conservação da malha pavimentada.

3.3 CLASSIFICAÇÃO DO PAVIMENTO

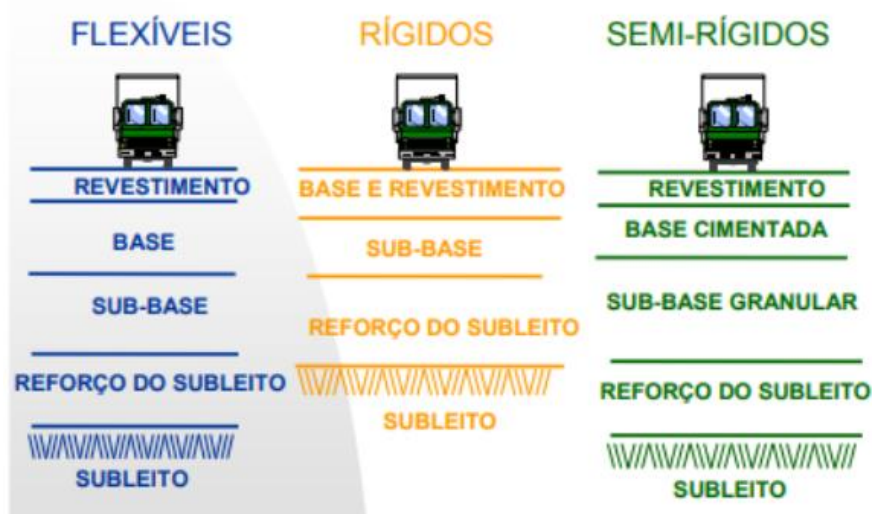
Na segunda metade do século XX ocorreu uma mudança na evolução do dimensionamento de pavimentos de arte para ciência. Nesse contexto, tem sido essencial o papel da análise experimental, contribuindo para o desenvolvimento e comprovação de métodos de dimensionamento e de modelos de desempenho de pavimentos, bem como na determinação de estratégias de gerência e políticas de recuperação (NUÑES, 1997).

Bartz (2017) afirma que o pavimento é classificado diferenciando-se pelo material presente na estrutura e como reagem a carregamentos, dispondo das suas aplicações específicas trazendo suas vantagens e desvantagens quanto a compatibilidade das suas características ao seu local de aplicação.

Os pavimentos podem ser classificados em três tipos: flexível, semirrígido e rígido. De acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT (BRASIL, 2006):

- a) Flexível: aquele que em todas as camadas sofre deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, por tanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas;
- b) Semi-rígido: caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias;
- c) Rígido: aquele em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado.

A Figura 2 mostra a diferença entre os tipos de pavimento flexíveis, rígidos e semi-rígidos.

Figura 2: Estrutura de pavimentos

Fonte: Berres, 2018.

Quando diferenciados pelos elementos presentes no pavimento, o classificado como rígido por ser mais resistente possuindo uma grande durabilidade, em contrapartida o flexível é suscetível às condições ambientais possuindo uma deformação permanente (BARTZ, 2017).

Os pavimentos flexíveis são estruturas de múltiplas camadas que trabalham em conjunto, cada uma delas absorvendo parte das solicitações impostas e transmitindo o restante às camadas localizadas em níveis inferiores (QUIRINO, 2013), em que todas as camadas sofrem uma deformação elástica significativa sob carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas (PINTO *et al.*, 2001).

Segundo a NBR 9781/2013 o pavimento flexível é composto por camadas de base inferior a camada de revestimento constituído por peças justapostas assentadas e preenchidas por material de rejuntamento, onde o intertravado é fixado por contenção. Já o pavimento flexível típico é constituído por um revestimento asfáltico delgado sobre uma base granular ou de solo estabilizado granulometricamente (constituído por camadas que não trabalham sensivelmente à tração) (SILVA, 2009).

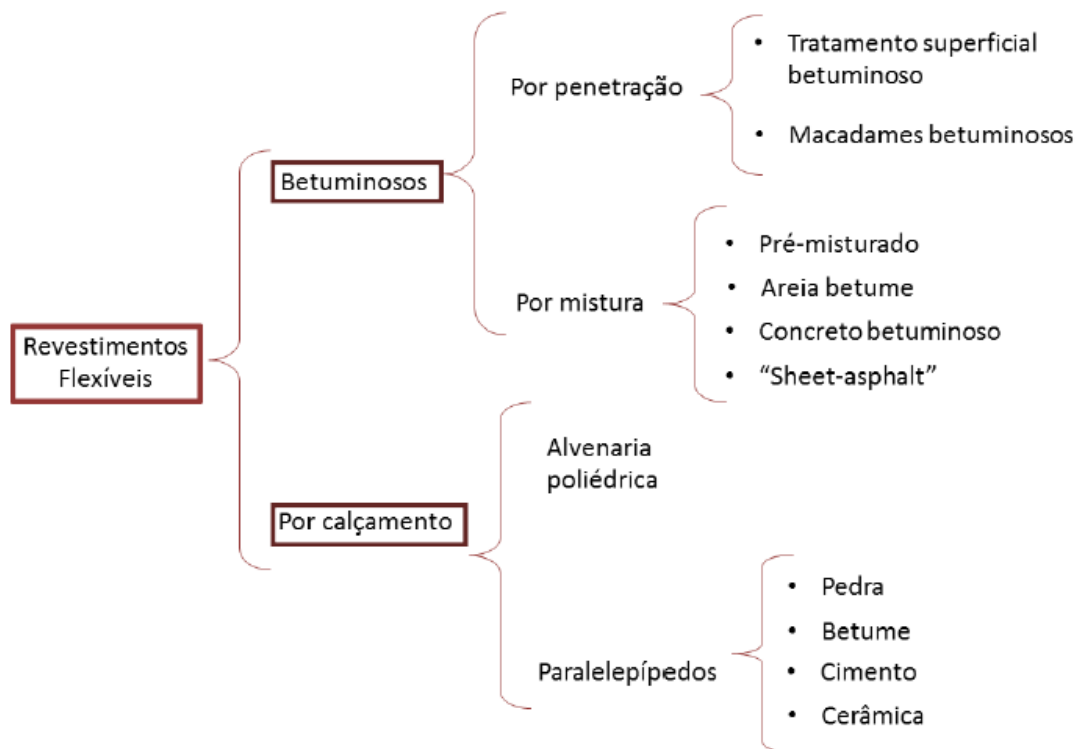
Quando, sob o revestimento betuminoso, tem-se uma base cimentada quimicamente, o pavimento é dito semi-rígido (PINTO *et al.*, 2001). Por outro lado, considera-se o pavimento reforçado de concreto asfáltico sobre placa de concreto de cimento portland, como pavimento composto (MEDINA, 1997).

Pavimentos rígidos: São aqueles com pouca deformação, constituídos principalmente de concreto de cimento e rompem por tração na flexão quando sujeitos a deformação. O modelo de pavimentação rígida baseia-se na implementação de cimento como aglomerante hidráulico

para interligação dos agregados envolvidos no concreto. Sendo a placa de cimento seu principal componente estrutural (ARAÚJO *et al.*, 2016). Pinto *et al.* (2001) ainda afirmam que o pavimento rígido é aquele em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores absorvendo praticamente todas as tensões oriundas do carregamento aplicado. A diferença entre pavimento flexível e rígido é que o pavimento flexível firma uma carga concentrada onde está sendo aplicada a força e redistribui às outras camadas existentes para seu suporte e o pavimento rígido distribui a carga em toda a dimensão da placa obtendo uma característica de suporte maior a esse tipo de revestimento (MEDINA; MOTTA, 2015) e ainda o tipo de material que está sendo executado na estrutura, de forma que o seu revestimento (camada superior de contato a carga), seja avaliado para essa classificação (SIQUEIRA, 2018).

No âmbito da pavimentação tradicional, distinguem-se os pavimentos rígidos dos flexíveis pela forma de desempenho de cada um deles, sendo que no primeiro caso, define-se a vida útil pela fadiga e no segundo caso pela deformação permanente. Porém, com o desenvolvimento da mecânica dos pavimentos e com a evolução dos métodos de acompanhamento do desempenho no campo, constata-se hoje que todos os pavimentos devem levar em conta todos os modos de rupturas indistintamente, sejam associados às cargas ou ao clima (SILVA, 2009).

Entre os pavimentos flexíveis, como mostra a Figura 3, tem-se o revestimento por calçamento, que enquadra o sistema de paralelepípedo, devidamente executado sobre uma base compactada, composto por pedras cortadas e assentadas sobre colchão de areia, rejuntadas com argamassa de Cimento Portland.

Figura 3: Tipos de revestimento do pavimento flexível

Fonte: Siqueira, 2018, adaptado de DNIT, 2004.

3.4 PAVIMENTAÇÃO EM PARALELEPÍPEDOS

Com o desenvolvimento das cidades foi surgindo naturalmente à necessidade de expansão das áreas urbanas habitáveis, aparecendo assim, consequentemente, a crescente demanda por serviços públicos de infraestrutura, tais como saneamento básico, drenagem urbana, pavimentação e fornecimento de energia elétrica. Na área da pavimentação uma das técnicas empregadas até os dias de hoje em cidades de pequeno porte é a pavimentação com paralelepípedos, que é de fácil manuseio e economicamente viável, atendendo as especificações das vias onde estão empregados. A rede de vias urbanas é um dos componentes principais de qualquer sistema de infraestrutura municipal e, ainda assim, é relativamente recente a preocupação dos administradores públicos com a sistematização de procedimentos para a gerência do sistema viário (JÚNIOR, 1992).

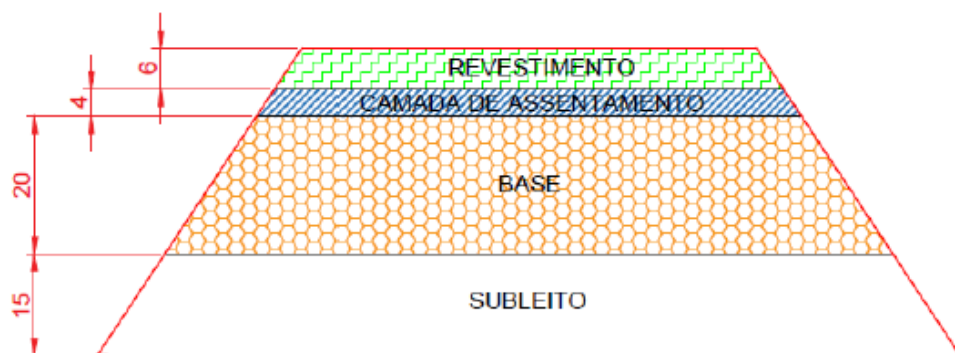
O pavimento com paralelepípedos tem um número considerável de aplicações em vias urbanas devido à necessidade de economia de recursos, resistência e baixa manutenção. Entre esses fatores, a resistência acaba sendo o grande responsável por essa opção, podendo receber cargas de veículos pesados. Os paralelepípedos podem ser fabricados de diversos materiais sendo os mais usuais constituídos de blocos de granito, gnaiss ou basalto e deverão atender os

requisitos da EM-8 da ABNT no que se refere à natureza ou origem, à regularidade geométrica e às dimensões mínimas e máximas recomendáveis (GONZALEZ, 2017). De acordo com Silveira (2003) os paralelepípedos geralmente são de granito, gnaiss, basalto, dacitas, riolitas ou originados de outros tipos de rocha de resistência equivalente. Tanto o granito como o basalto são utilizados para calçamento de ruas e pavimentos.

O revestimento de paralelepípedo é constituído por blocos regulares e assentados sobre um colchão de regularização de material granular apropriado, as juntas entre os paralelepípedos podem ser tomadas com o próprio material do colchão de regularização, pedrisco, materiais betuminosos ou argamassa de cimento Portland (DNIT 2006).

Siqueira (2018) afirma que os valores admitidos nas espessuras das camadas do pavimento em paralelepípedo têm a finalidade de atingir uma resistência à compressão estimada para tráfego previsto de pedestres, veículos leves e comerciais sendo admitido no dimensionamento conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4: Dimensionamento Pavimento em Paralelepípedos



Fonte: Siqueira, 2018.

- Camada de subleito se enquadra em uma faixa de 15 cm de dimensão;
- Camada de base constituída por um valor mínimo de 10 cm;
- Camada de assentamento do material de revestimento entre 20 e 60 mm de espessura.

De acordo com a construtora CLC, os dois principais métodos para a execução da pavimentação em paralelepípedo são: Método Convencional e Método Bripar, que diferem basicamente na forma e nos materiais utilizados para execução do rejuntamento dos paralelepípedos.

3.4.1 Método Convencional

Pelo Método Convencional as juntas do pavimento são preenchidas com argamassa de cimento e areia no traço 1:3 (CLC CONSTRUTOTA, 2012) conforme Figura 5.

Figura 5: Pavimentação pelo método convencional



Fonte: Autor, 2021.

A execução deste serviço acontece com o assentamento das pedras espaçadas sobre um colchão de areia, ou chamada de camada uniforme de areia grossa que quando compactada atingindo o nível normal do terreno, são impostas sobre elas um preenchimento de juntas preparadas com argamassa de areia e cimento, de maneira que seja bem preparada no seu tempo certo de execução para o não endurecimento (MEDEIROS, 2015).

3.4.2 Método Bripar

O Método Bripar consiste em preencher as juntas com brita e cascalho e utilizando-se material betuminoso, preferencialmente Emulsão Asfáltica RR-2C, para unir a brita com o cascalho e os paralelepípedos (CLC CONTRUTORA, 2012). A Figura 6 ilustra a pavimentação pelo método Bripar.

Figura 6: Método Bripar



Fonte: Prefeitura do Assú, 2018.

O pavimento Bripar (Brita + Paralelepípedo) deve ser entendido como as lajes monolíticas rígidas aos esforços tangenciais e semiflexíveis, provenientes da associação da brita graduada com o paralelepípedo, compactado mecanicamente. O paralelepípedo e a brita são materiais de uso comum, mas que nunca haviam sido associados para constituírem pavimento em que se usa o asfalto como elemento catalisador, isto é, fazendo parte do pavimento, assegurando a longevidade, pelas três propriedades que lhes são comuns: é aglutinante unindo as britas entre si e ao paralelepípedo, é impermeabilizante, garantindo a estabilidade da base, não permitindo a entrada de água e nem a desconcentração dos materiais e finalmente é plástico o suficiente para permitir, em pequenos movimentos à adaptação do pavimento, mantendo as principais características já observadas (INVENÇÕES BRASILEIRAS, 2008).

A associação da brita seca ao paralelepípedo permite usar compactadores de 8 a 18 toneladas e se obter superfície planas perfeitas, eliminando os recalques (residuais) diferenciais responsáveis pelo desconforto dos pavimentos em paralelepípedos tradicionais, em razão da compactação a percussão (malhos mecânicos e manuais) que era usado, portanto, não uniforme e que permitia ao mesmo a formação de uma superfície plana perfeita com características permanentes. Antes de Bripar, impraticável era a compactação mecânica correta e perfeita dos pavimentos a paralelepípedos: a associação com a areia fazia o paralelepípedo virar no mesmo sentido do deslocamento do compactador enquanto a associação ao cimento provocava a quebra do cimento pulverizando-o. O método bripar associando a brita seca graduada ao paralelepípedo

para formação de um pavimento para revestir ruas ou estradas resolve tais problemas (INVENÇÕES BRASILEIRAS, 2008).

3.4.3 Vantagens e Utilização

Para a execução de obras de pavimentação em paralelepípedos, Pellenz (1983) afirma que não se necessita de mão de obra especializada, levando em conta que sua resistência abrange ações químicas ocasionadas por veículos tipos óleos, combustíveis, entre outros. Este revestimento necessita de uma manutenção de forma rápida sem uso de máquinas e trabalho em menor equipe para essa execução, podendo ser reaproveitado o material existente.

A execução para este tipo de procedimento descreve os materiais previstos para implantação deste revestimento permitindo que seja constituída por rochas cortadas sobre uma camada de base compactada, dependendo de uma fácil execução e particularmente do próprio solo de subleito, camada está presente no local de aplicação, sem que seja necessário de um solo especializado para esta execução, sendo ele seu solo de fundação alterado somente se necessário para melhoramento (SIQUEIRA, 2018).

Do ponto de vista ambiental, reciclagem de pavimentos flexíveis é prática mundialmente utilizada, com vantagens técnicas, econômicas e ambientais. A reutilização do paralelepípedo diminui a exploração de novas fontes de matéria-prima, cumprindo a premissa básica da gestão ambiental – a redução na fonte – além de eliminar os custos de extração, escavação, carga e transporte e economizar recursos financeiros (SILVA, 2009).

3.5 DEFEITOS MAIS FREQUENTES E PROVÁVEIS CAUSAS

As cidades brasileiras de pequeno porte não têm dada a importância devida às fases de planejamento, dimensionamento e execução das estruturas de pavimento, fazendo com que grande parte das vias apresentem um elevado e precoce grau de deterioração devido as reduções em orçamentos, e que os administradores públicos tem enfrentado inúmeros problemas na difícil tarefa de gerenciar a infraestrutura desses municípios com a falta de recursos (BERTOLLO, 1997). Geralmente, a execução de obras de pavimentação na maioria das cidades brasileiras de pequeno porte é desprovida de um estudo da região, planejamento e dimensionamento, esta situação ocasiona a menor vida útil dos pavimentos, alto custo de manutenção e maior degradação ambiental (CARVALHO, 2010).

Os materiais que compõe as camadas estruturantes até o colchão de areia que receberá esses paralelepípedos devem ter uma compactação boa e ser um material adequado para a demanda de trânsito que este pavimento estará exposto. Quando não há uma boa compactação

esse revestimento apresenta algumas patologias que prejudicam a locomoção de veículos e pessoas, como as ondulações, afundamentos e buracos causados pelo desprendimento dos paralelepípedos (RIBEIRO, 2017).

Conforme mostra à Tabela 1 os defeitos mais frequentes que ocorrem nos pavimentos de paralelepípedos e alvenaria poliédrica são devidos, principalmente, a incorreções na execução da base e do subleito, sendo essas etapas muitas vezes ignoradas durante a obra. Dentre os mais comuns, observam-se superfícies escorregadias, deslocamentos das pedras constituintes do pavimento, abatimentos do pavimento, afloramento de materiais argilosos do subleito, ondulações no pavimento, afundamentos, painéis e ocos (ALMEIDA; PAIVA, 2019).

Tabela 1: Tipos de Patologias e níveis de severidade

Tipos de patologias	Descrição	Tipos de severidade	Descrição
Abatimento do pavimento	Rebaixamento da superfície em relação ao nível inicial do pavimento	Baixo	Inferior a 50mm
		médio	Entre 50 e 100mm
		Alto	Superior a 100mm
Afloramento de materiais argilosos do subleito	Presença de material argiloso acima das pedras constituintes do revestimento	Baixo	Espessura do afloramento menor que 10mm
		médio	Espessura do afloramento entre 10 e 30mm
		Alto	Espessura do afloramento maior que 30mm
Painéis	Buraco provocado pela ausência das peças do calçamento, peças se soltando da base.	Baixo	Ausência de uma peça
		médio	Ausência de duas até cinco peças adjacentes
		Alto	Ausência de mais cinco peças adjacentes
Juntas sem preenchimento	Falta de material de preenchimento das juntas do revestimento.	Baixo	-
		médio	O material de preenchimento apresenta-se de forma parcial
		Alto	Não há material de preenchimento

Tipos de patologias	Descrição	Tipos de severidade	Descrição
Elevação	Elevação da superfície em relação ao nível original do pavimento.	Baixo	Desnível inferior a 50 mm
		médio	Desnível entre 50 e 100 mm
		Alto	Desnível superior a 100 mm
Deformação por aceleração, frenagem ou mudança de direção	Deformação longitudinal, transversal ou radial, descaracterizando a disposição das peças, sem se deslocarem na base.	Baixo	Deslocamento máximo inferior a 100 mm
		médio	Deslocamento superior a 100 e inferior a 200 mm
		Alto	Deslocamento máximo superior a 200 mm
Afundamento de trilhas de roda com solavanco lateral	Afundamento nas regiões de caminho preferencial dos pneus dos veículos com deslocamentos laterais ou elevações das áreas adjacentes as trilhas de roda	Baixo	Desnível inferior a 100 mm
		médio	Desnível entre 50 e 100 mm
		Alto	Desnível superior a 100 mm
Afundamento de trilhas de roda sem solavanco lateral	Afundamento nas regiões de caminho preferencial dos pneus dos veículos sem os deslocamentos laterais.	Baixo	Desnível inferior a 100 mm
		médio	Desnível entre 50 e 100 mm
		Alto	Desnível superior a 100 mm
Ondulação	Formação de ondas perpendiculares ao eixo da via, ocasionando vibrações excessivas aos veículos.	Baixo	Alturas das depressões e elevações inferior a 50 mm
		médio	Alturas das depressões e elevações entre 50 mm e 100 mm
		Alto	Alturas das depressões e elevações superiores a 100mm

Fonte: Almeida e Paiva, 2019.

Bertoluzzi (1986) ainda cita que a grande probabilidade desses defeitos ocorrerem serem devido à execução deficiente da drenagem superficial, recalques diferenciais sofridos pelos aterros, recalque do subleito, execuções não adequadas do subleito e base, execução do subleito fora das especificações, infiltração de água por meio do rejuntamento alterando a base, quebra da estrutura do pavimento pela desarticulação das guias e cordões e a desarticulação da base do pavimento pela má execução de rejuntamento. A falta de preenchimento das juntas associado ao tráfego de veículos faz as peças se deslocarem de modo que, com a passagem dos veículos os materiais das camadas subjacentes ascendam à superfície. A drenagem ineficiente também contribui. Esse processo resulta da deterioração ou inexistência da camada de base (ALMEIDA; PAIVA, 2019).

Segundo Patriota (2004) os principais fatores associados aos problemas de manutenção/reabilitação de pavimentos, em geral, são:

- I- Fonte de recursos insuficientes;
- II- Objetivos contraditórios e de prioridade;
- III- Priorização inadequada das atividades;
- IV- Ausência ou insuficiência de planejamento da manutenção viária;
- V- Entendimento inadequado das alternativas técnicas para realização de intervenções de manutenção;
- VI- Sucateamento e não renovação do corpo técnico especializado;
- VII- Baixa produtividade das operações de manutenção;
- VIII- Ausência de monitoramento das redes pavimentadas;
- IX- Não avaliação do desempenho das estruturas do pavimento.

A previsão da vida útil de um pavimento está estreitamente ligada à compreensão de seu comportamento mecânico e dos mecanismos de degradação capazes de alterar sua qualidade ao longo do tempo. O conceito de vida útil não se aplica apenas na concepção e no dimensionamento de novos pavimentos, mas também na manutenção e no reforço de pavimentos antigos cuja existência se deseja alongar. Neste último caso, ganha importância o conceito de vida residual (NUÑES, 1997).

Para atingir uma capacidade satisfatória de desempenho e um prolongamento de sua vida útil, os pavimentos exigem reabilitações, passando por processos de restauração simples, reforço de sua estrutura, ou, ainda a combinação destas ações com melhoramentos referentes à drenagem e ao traçado geométrico da via, conforme as deficiências detectadas (SILVA, 2009).

4 METODOLOGIA

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

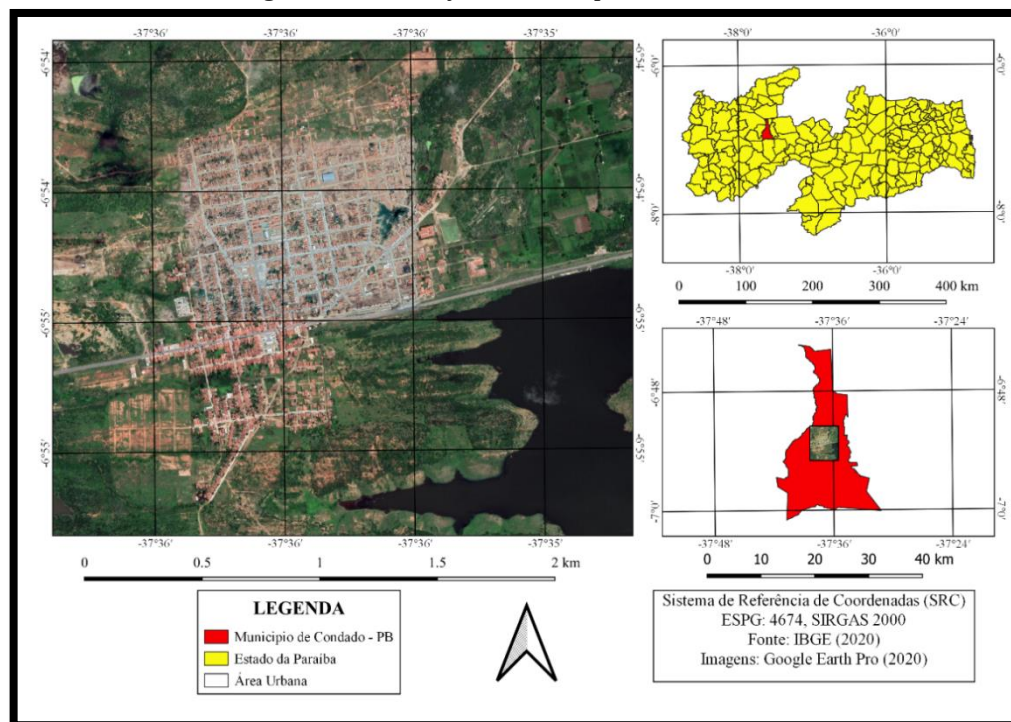
O estudo referente à comparação dos pavimentos flexíveis por meio de pedras de paralelepípedos descreverá o método empregado em sua fase de execução, especificando se há e quais as diferenças no método executivo e nos materiais utilizados na implantação desses pavimentos.

O presente estudo é classificado de modo exploratório e descritivo sendo desempenhado por pesquisa bibliográfica, visitas de campo e análises em laboratório, descrevendo características e dados do ambiente que investiga.

4.2 DESCRIÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

O presente estudo foi realizado na cidade de Condado – PB, que está localizada no alto sertão paraibano (Figura 7), possui área territorial de 265,473 km² e população estimada de 6.658 pessoas. O município limita-se ao Norte com os municípios de Paulista e Vista Serrana, ao leste com Malta, ao Sul com Catingueira, ao Oeste com os municípios de Cajazeirinhas, São Bentinho e Pombal. Apresenta um PIB per capita de R\$ 9.075,85 (IBGE, 2010; IGBE, 2020).

Figura 7: Localização do município de Condado-PB

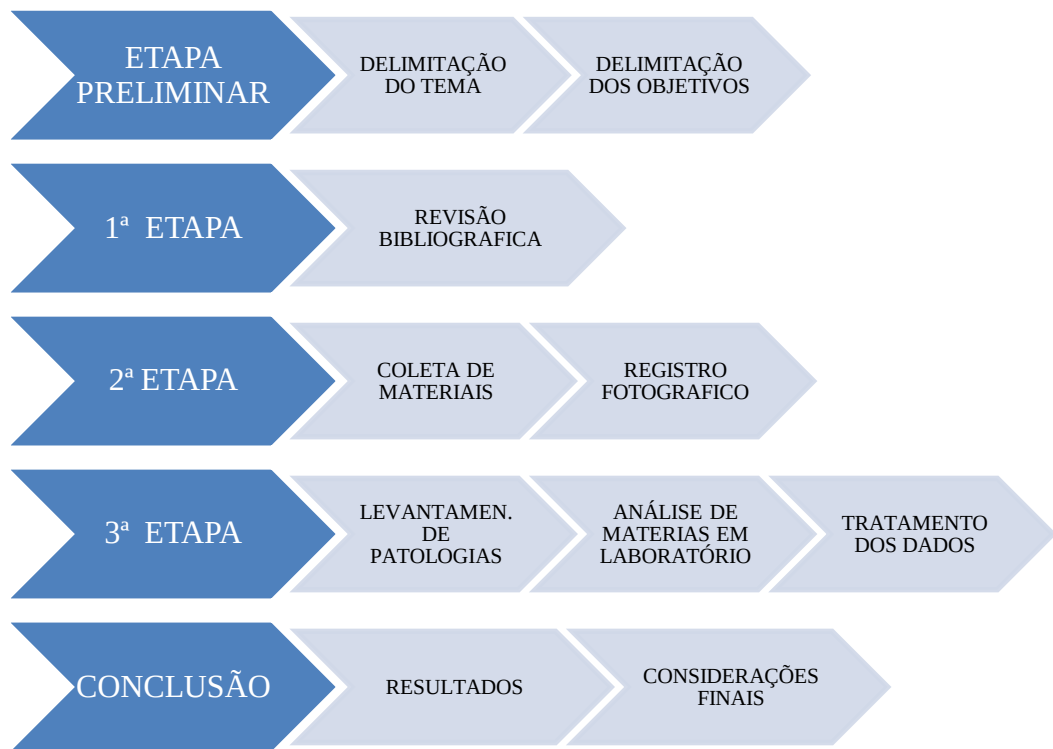


Fonte: Araújo, 2021.

4.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Quanto aos procedimentos, a execução do trabalho deu-se em três etapas, apresentadas no Fluxograma da Figura 8.

Figura 8: Fluxograma de etapas de realização do trabalho.



Fonte: Autor, 2021.

4.4 MÉTODOS

O presente trabalho se desenvolveu com base no acompanhamento das etapas construtivas de implantação de pavimentação em paralelepípedos. A Figura 9 mostra as ruas pavimentadas que foram o objeto de estudo desta pesquisa, sendo na cor vermelha as ruas com o pavimento em pedras granítica, em azul se encontram as ruas com pavimento em pedras de calcário e na cor laranja são as ruas que estão em processo de construção do pavimento com pedras graníticas.

Figura 9: Imagem aérea do município de Condado com a localização das ruas objeto de estudo.



- Pedra Granítica
- Pedra Calcária
- Em construção (Granítica)

Fonte: Adaptado de Google Earth, 2022.

4.4.1 Análise de argamassa de rejuntamento

Realizou-se a coletas de amostras de oito corpos de provas da argamassa de cimento Portland durante a fase de implantação de pavimentos em paralelepípedos e em seguida foi feita a determinação da resistência à compressão de corpos de provas cilíndricos (NBR 7215/1996) no laboratório de materiais do curso de engenharia civil do Centro Universitário de Patos-UNIFIP. O método compreende a determinação da resistência a compressão de corpos de provas cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, sendo necessária a análise de quatro corpos de provas, porém, por limitação do laboratório, adotou-se a quantidade de dois corpos de provas para cada idade de rompimento.

A argamassa foi preparada por um misturador mecânico (betoneira) e compactada manualmente nos moldes, apesar da norma estabelecer que podem ser usados compactadores mecânicos, com a condição de que, ao serem utilizados, os resultados não difiram de forma significativa usando-se a compactação manual.

Os moldes foram conservados em atmosfera úmida para cura inicial durante 24 horas e em seguida foram desmoldados e submetidos à cura imersos em água até as datas de rupturas.

Na Figura 10 está mostrada a prensa para a realização do ensaio de compressão axial de corpos de provas de cimento Portland utilizado como argamassa de rejuntamento, utilizando sempre corpos de provas de tamanho 100 mm x 50 mm.

Figura 10: Prensa de ensaio de determinação da resistência a compressão



Fonte: Autor, 2022.

Os corpos de provas foram nomeados de CP-01 a CP-08, conforme Tabela 2. Foi realizada a leitura do diâmetro com o uso de paquímetro e em seguida feito o rompimento das amostras nas idades de 07, 16, 21 e 28 dias respectivamente, sendo duas amostras por idade de cura, onde obteve-se a média da resistência a compressão para cada idade. O rompimento aos 14 dias não foi possível devido à indisponibilidade do laboratório na data.

Tabela 2: Idade de rompimento de Corpos de provas

Corpo-de-prova	Idade (dias)	Data da moldagem	Data do ensaio
CP-1	7	15/02/2022	22/02/2022
CP-2	7	15/02/2022	22/02/2022
CP-3	16	15/02/2022	03/03/2022
CP-4	16	15/02/2022	03/03/2022
CP-5	21	15/02/2022	08/03/2022
CP-6	21	15/02/2022	08/03/2022
CP-7	28	15/02/2022	15/03/2022
CP-8	28	15/02/2022	15/03/2022

Fonte: Autor, 2022.

4.4.2 Análise de espaçamento entre pedras

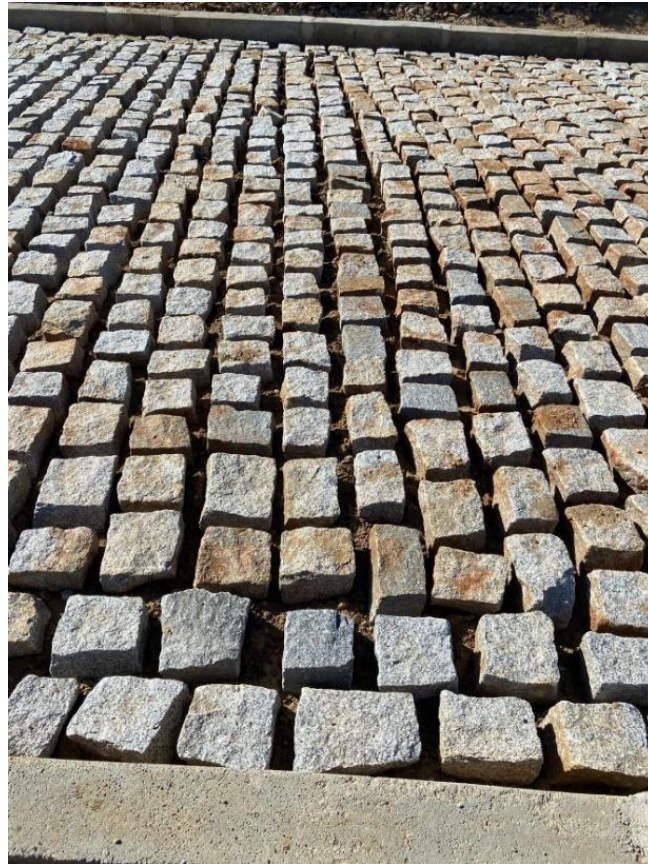
Para o desenvolvimento desse estudo analisou-se a execução do assentamento das pedras sobre o colchão de areia, onde foram realizadas medidas com trena e feito o registro fotográfico dos dois tipos de pedras, conforme Figura 11 e Figura 12, usadas na pavimentação para análise de espaçamento entre as juntas longitudinais e transversais.

Figura 11: Espaçamento entre as juntas longitudinais e transversais de pavimentação com pedra calcária.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 12: Espaçamento entre as juntas longitudinais e transversais de pavimentação com pedras graníticas.



Fonte: Autor, 2022.

A inexistência de um critério de dimensionamento apropriado às estruturas de pavimentos em paralelepípedos no Brasil, que dedique uma atenção especial ao critério de espaçamento entre as juntas de assentamento das pedras, impulsionou um gradativo interesse na busca de um maior conhecimento e esclarecimento sobre o comportamento do pavimento, assim, restam como referências sobre o assunto consultas aos projetos de pavimentação e licitações públicas das diversas prefeituras brasileiras.

Para esta análise seguiu-se a norma técnica utilizada pelos projetos de pavimentação da prefeitura de Parnamirim-RN, visto que não existe uma norma nacional ou critério oficial de dimensionamento para pavimentos de paralelepípedos que regulamente esse tipo de serviço, que considera:

- As juntas dos paralelepípedos deverão ter uma dimensão de 2.5cm. A profundidade das juntas deverá ser de, no mínimo, 5cm. As juntas poderão ter uma variação de + / - 0.5cm em relação à dimensão prevista acima, considerando-se juntas isoladas da pavimentação;

- O rejuntamento dos paralelepípedos será efetuado logo que seja terminado o seu assentamento. O intervalo entre uma e outra operação fica a critério da Fiscalização; entretanto deverá acompanhar de perto o rejuntamento, principalmente, em regiões chuvosas ou sujeitas a outras causas que possam danificar o calçamento já assentado, porém ainda não fixado e protegido pelo rejuntamento;
- O rejuntamento será feito do seguinte modo: a argamassa utilizada será no traço 1:3 (cimento e areia grossa) será espalhada no pavimento e por meio de vassourões adequados força-se a penetração desse material, até preencher as juntas dos paralelepípedos. Logo após será feita a compactação por vibração utilizando-se compactadores vibratórios de placa (tipo sapo), de modo a permitir uma maior acomodação rejuntamento/paralelepípedo;
- No que se refere a sua forma, os paralelepípedos devem apresentar faces planas, sem saliências e reentrâncias acentuadas, com maior rigor na face que deverá constituir a face exposta do pavimento;
- As arestas deverão ser linhas retas e perpendiculares entre si, formando, nos casos mais comuns, paralelepípedos retângulos. Em nenhum caso, as dimensões de face inferior poderão diferir da face superior mais de 2cm.
- Os paralelepípedos deverão enquadrar-se nas seguintes dimensões:
Largura: 10 a 14 cm;
Comprimento: 18 a 22 cm;
Altura: 10 a 14 cm.

4.4.3 Levantamento de patologias

Procedeu-se o levantamento da quantidade e dos tipos de patologias encontradas nas ruas pavimentadas já liberadas para o tráfego de veículos e pedestres.

Com o auxílio de máquina fotográfica e caderneta de campo, realizou-se a identificação e feito o registro fotográfico das patologias existentes nas ruas que receberam pavimentação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DA ARGAMASSA DE REJUNTAMENTO

Como mencionado, os ensaios de determinação da resistência a compressão axial foram realizados em corpos de provas do tipo cilíndrico nas dimensões 50mm x 100mm (diâmetro x altura), de acordo com a NBR 7215/1996. Na Tabela 3 estão dispostos os resultados dos ensaios de determinação da resistência a compressão axial em corpos de provas cilíndricos da argamassa de rejuntamento da pavimentação em paralelepípedos.

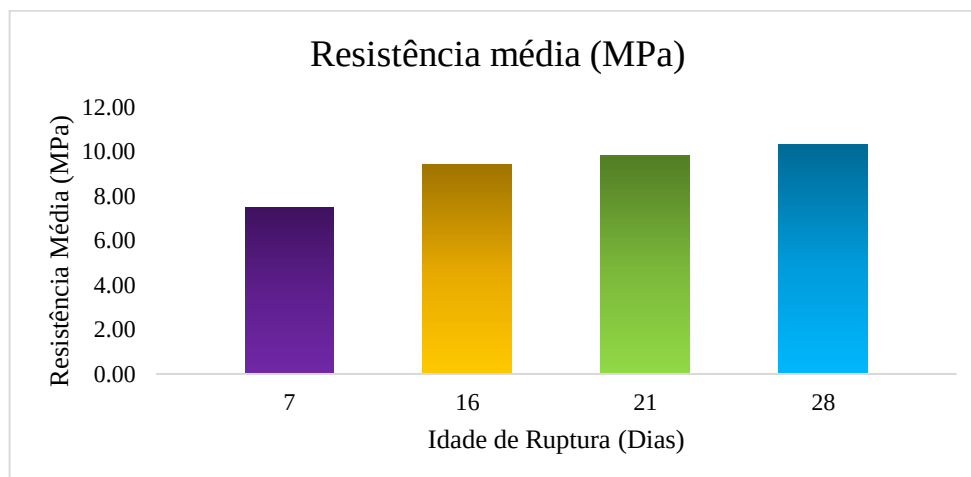
Tabela 3: Resultado de Ensaio de Resistência a Compressão Axial

Corpo-de-prova	Carga (N)	Resistência à compressão (MPa)	Resistência média (MPa)	Diâmetro (mm)	Data da moldagem	Idade (dias)	Data do ensaio
CP-1	12257,5	6,43	7,48	49,25	15/02/2022	7	22/02/2022
CP-2	16866,32	8,52		50,2	15/02/2022	7	22/02/2022
CP-3	17946,81	9,03	9,43	50,3	15/02/2022	16	03/03/2022
CP-4	19417,86	9,83		50,15	15/02/2022	16	03/03/2022
CP-5	20006,28	9,99	9,82	50,5	15/02/2022	21	08/03/2022
CP-6	19025,58	9,65		50,1	15/02/2022	21	08/03/2022
CP-7	18437,16	9,26	10,31	50,35	15/02/2022	28	15/03/2022
CP-8	22654,17	11,35		50,4	15/02/2022	28	15/03/2022

Fonte: Autor, 2022.

Com os resultados obtidos, observa-se que os valores médios da resistência de ruptura nos corpos de provas foram de 7,48 MPa, 9,43 MPa, 9,82 MPa e 10,31 MPa para as idades de 7, 16, 21 e 28 dias, respectivamente. Esses valores são melhor visualizados no gráfico da Figura 13.

Figura 13: Valores Médios de Resistência à Compressão Axial de Argamassa de Cimento Portland

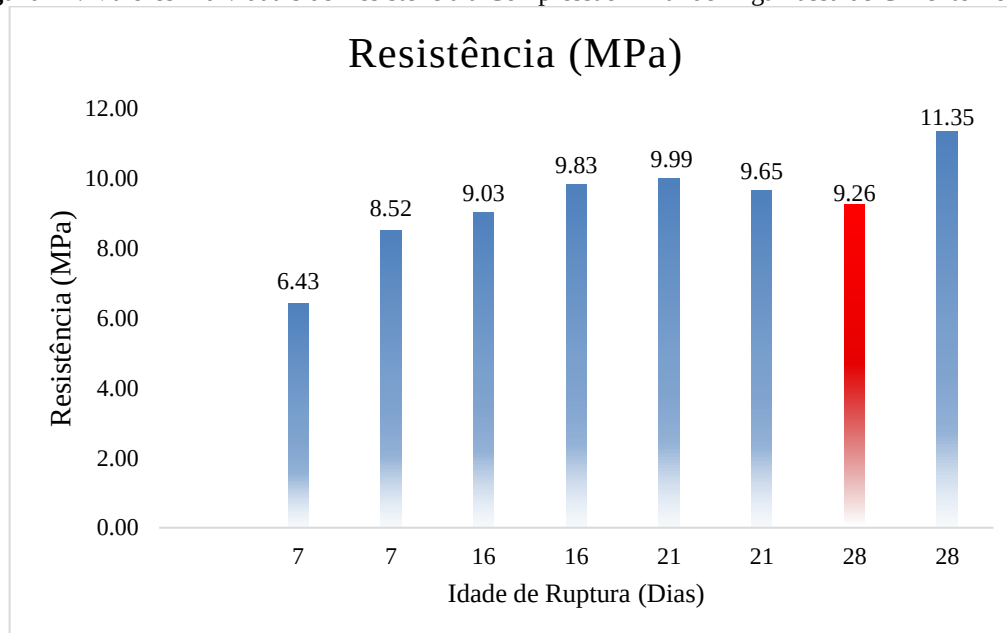


Fonte: Autor, 2022.

Os resultados apresentados na Figura 13 demonstram, de maneira geral, que o aumento da resistência à compressão dos corpos de prova foi diretamente proporcional ao aumento dos dias de cura em argamassas de cimento Portland, sendo gradativo e uniforme, ou seja, a idade aparentemente aumenta a resistência à compressão, até atingir certo limite. De forma geral, a resistência aumenta com a idade, uma vez que as partículas não hidratadas do cimento continuam a formar produtos de hidratação, que tendem a reduzir o tamanho e o volume total de vazios (NEVILLE, 1997; AÏTCIN, 2000). A hidratação do cimento é basicamente uma sequência de reações químicas entre este componente e a água, obtendo como resultado a perda de consistência, a pega, o endurecimento e o desenvolvimento da resistência da pasta de cimento (CAMPOS, 2015).

A Figura 14 mostra os valores de resistência de cada corpo de prova por idade de rompimento, individualmente.

Figura 14: Valores Individuais de Resistência à Compressão Axial de Argamassa de Cimento Portland



Fonte: Autor, 2022.

Cabe observar que ao analisar individualmente os valores de resistência de cada corpo de prova por idade de rompimento, conforme gráfico da Figura 14, na idade de 28 dias o resultado obtido no corpo de prova CP-7 9,26 MPa, foi 18% inferior ao resultado obtido no CP-8 11,35 MPa e também aos resultados obtidos aos 21 dias de cura, sendo 7% menor que o CP-5 9,99 MPa e 4% ao CP-6 9,65 MPa. Provavelmente essa diferença pode ter ocorrido por problemas na moldagem do corpo de prova, inadequada vibração, ou no momento de

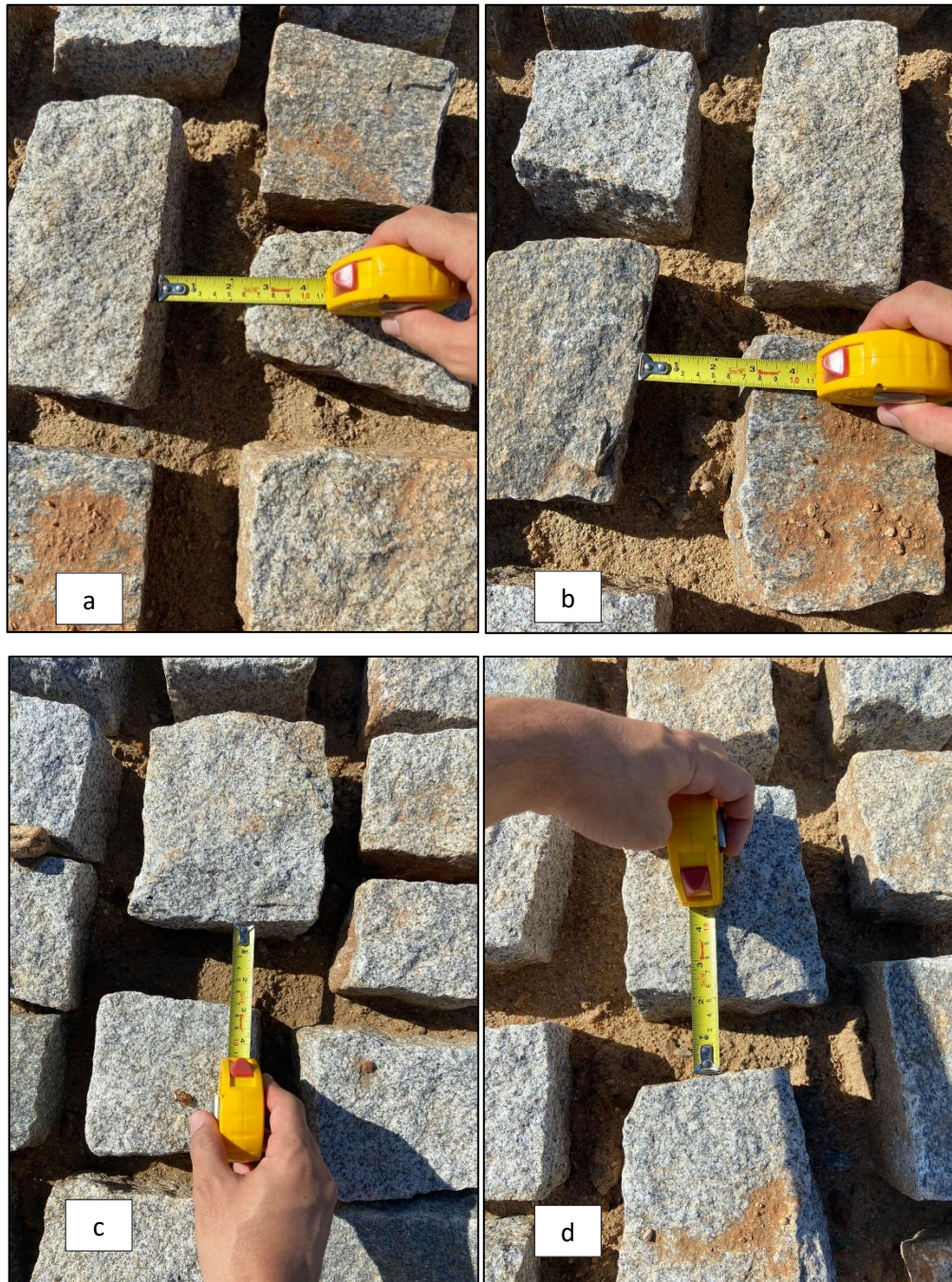
preparação dos topos dos corpos de prova, já que os corpos de prova rompidos foram moldados em uma mesma betonada e mantidos nas mesmas condições até as datas de rupturas.

5.2 ESPAÇAMENTO DAS JUNTAS LONGITUDINAIS E TRANSVERSAIS

5.2.1 Pavimento com pedra granítica

No que se refere ao espaçamento das juntas longitudinais e transversais a Figura 15 mostra que os espaçamentos do pavimento com pedras graníticas estão com medidas acima dos 2,5 cm recomendados pela norma técnica da prefeitura de Parnamirim-RN.

Figura 15: Medidas de espaçamento de juntas de pavimento com pedras graníticas



Fonte: Autor, 2022.

As Figuras 15-a, 15-b, 15-c e 15-d mostram leituras de espaçamentos de 6 cm, 7,5 cm, 7 cm e 5 cm respectivamente.

Problemas durante a execução do pavimento como falta de intertravamento pela distância excessiva de peças de paralelepípedos podem ocasionar seu desgaste pré-maturo que, associado ao tráfego de veículos, aceleram esse processo, acarretando a formação de panelas e as deformações por frenagem e aceleração, além de facilitar também a entrada de água nas

camadas subjacentes, contribuindo assim para a ocorrência dos abatimentos e afundamento dos pavimentos. Segundo Gonzalez (2017) a falta de intertravamento das pedras gera o deslocamento dessas peças, principalmente em trechos de aceleração devido ao ponto da ação dinâmica, ocasionando o escorregamento do revestimento.

5.2.2 Pavimento com pedra calcária

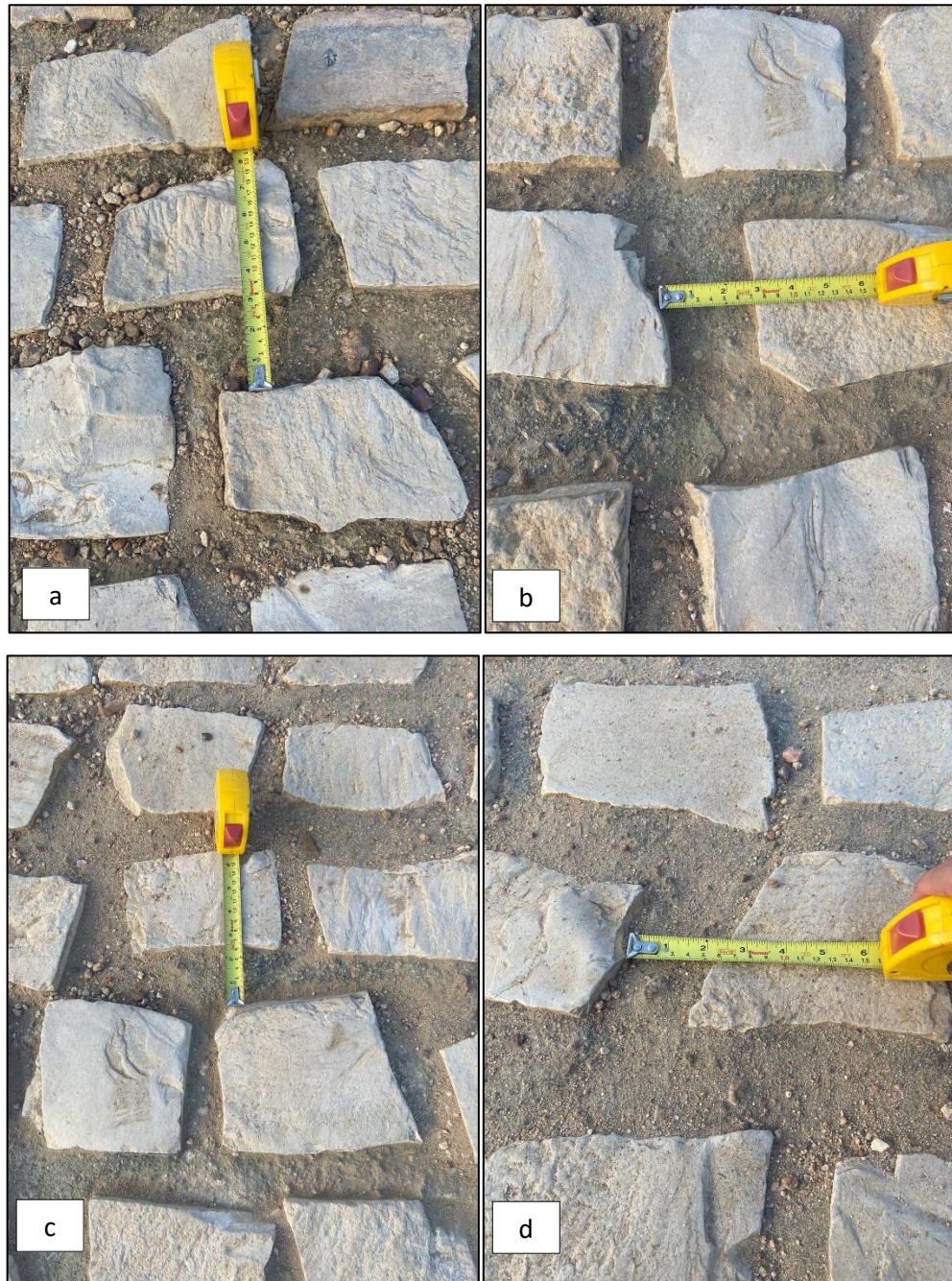
Durante o período de desenvolvimento deste estudo não foi possível fazer o acompanhamento da implantação do pavimento de paralelepípedos com o uso de pedras calcárias devido a não utilização desse tipo de pedras nas obras que estavam em andamento no município, desta forma procedeu-se as leituras de espaçamento de juntas longitudinais e transversais em uma rua já pavimentada com pedras calcárias e liberada ao tráfego.

Verificou-se a falta de preenchimento nas juntas e desgaste prematuro da argamassa de rejuntamento, muito provavelmente ocasionado pelo uso de material inadequado durante sua execução e pela falta de intertravamento entre as peças ocasionado pela distância acima de 3 cm, espaçamento máximo recomendado pelos projetos de pavimentação e licitações públicas consultadas.

Dias *et al.* (2016) cita que existem três formas de intertravamento do sistema que garantem a resistência aos movimentos de deslocamentos: intertravamento horizontal que é a incapacidade de descolamento de uma peça nesse sentido em relação às peças vizinhas; intertravamento vertical, que é a restrição das peças ao movimento vertical em relação às peças vizinhas, e ainda o intertravamento rotacional, que é obtido pela espessura das juntas entre as peças e o consequente confinamento oferecido pelas peças vizinhas.

A Figura 16 mostra espaçamentos de 8 cm, 7 cm, 6 cm e 5,5 cm entre as juntas, não se diferenciando do espaçamento quando introduzido com pedras graníticas.

Figura 16: Medidas de espaçamento de juntas de pavimento com pedras calcária



Fonte: Autor, 2022.

5.3 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Diversos defeitos podem se apresentar sobre os pavimentos por diversos motivos, porém, erros de projeto e execução podem contribuir para o surgimento ou desenvolvimento de patologias que irão prejudicar a funcionalidade da pavimentação. Conforme Figura 17, a falta de material de preenchimento das juntas associado ao tráfego de veículos e às intempéries climáticas ocasionam o aparecimento de panelas.

Figura 17: Juntas sem preenchimento com aparecimento de Panelas



Fonte: Autor, 2022.

As causas mais prováveis para esse surgimento são em decorrência de problemas na execução do pavimento, como a falta do intertravamento adequado das peças e/ou ainda o uso de material inadequado durante a execução. O intertravamento acontece em função de um sistema de assentamento das peças, e para que ele ocorra todo esse sistema deve estar integrado de maneira eficiente. A falta de intertravamento acontece devido ao espaçamento demasiado entre as peças, conforme verificou-se com a realização desse trabalho e já citado anteriormente.

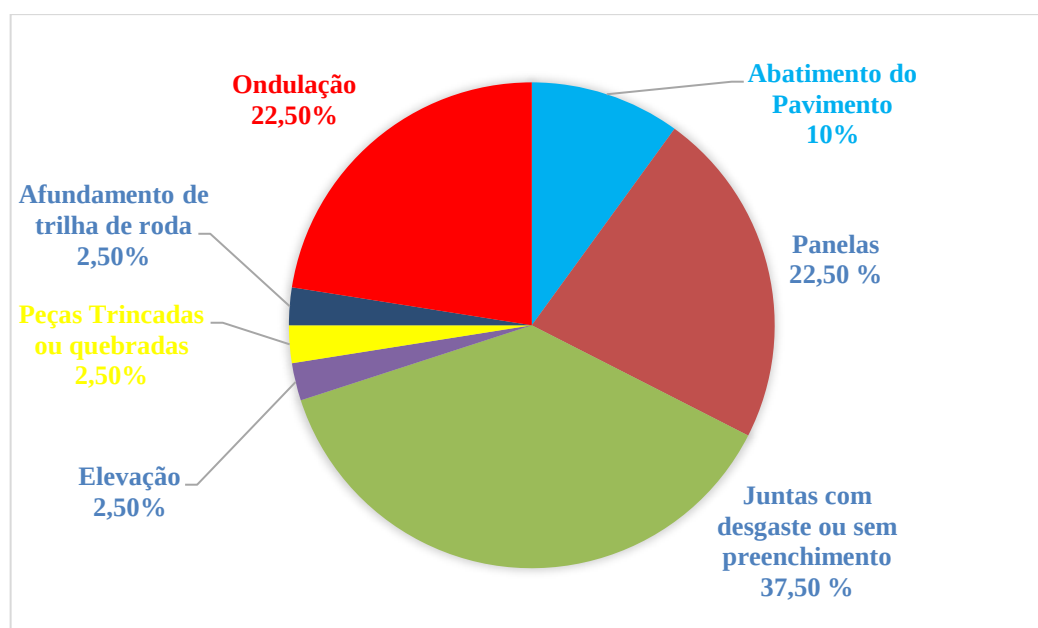
Os resultados das análises das manifestações patológicas presentes nos pavimentos estão representados na Tabela 4. Todas as prováveis causas foram relacionadas a partir de referências da literatura ou conjecturadas com as vistorias feitas em campo. Considerando que a patologia de maior ocorrência são as falhas nas juntas de espaçamento, muito provavelmente esse problema ocorre devido ao afastamento demasiado entre as pedras de paralelepípedos durante seu processo de assentamento e a baixa qualidade na argamassa de rejuntamento.

Tabela 4: Tipos de patologias identificadas e frequência de ocorrências

Tipo de Patologia	Tipo de Pedra do Pavimento		Quantidade	Ocorrência (%)
	Granítica	Calcária		
Abatimento do Pavimento	3	1	4	10,00
Panelas	1	8	9	22,50
Juntas com desgaste ou sem preenchimento	-	15	15	37,50
Elevação	-	1	1	2,50
Peças Trincadas ou quebradas	-	1	1	2,50
Deformação por aceleração, frenagem ou mudança de direção	-	-	0	0
Afundamento de trilha de roda	-	1	1	2,50
Ondulação	2	7	9	22,50
Total de Patologias	6	34	40	100

Fonte: Autor, 2022.

Com os resultados obtidos observa-se que a patologia com maior ocorrência são as juntas com desgaste ou sem preenchimento com 37,5%, seguida por panelas com 22,5%, somadas, estas representam 60% de todas as patologias presentes nos pavimentos. Não se verificou o aparecimento da patologia deformação por aceleração, frenagem ou mudança de direção, provavelmente justificado pela pouca idade dos pavimentos. O percentual dos resultados das patologias estão representados no gráfico da Figura 18.

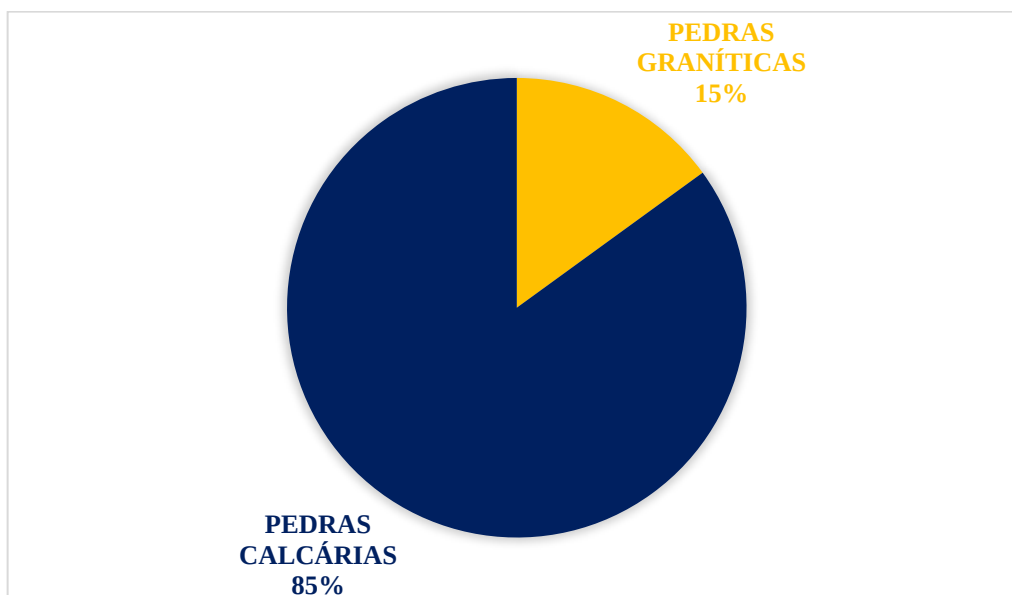
Figura 18: Percentual de patologias dos pavimentos

Fonte: Autor, 2022.

É inevitável não correlacionar a patologia de maior ocorrência, juntas com desgaste ou sem preenchimento (37,5%) com as demais patologias encontradas. Considerando que as juntas entre as peças não estão corretamente preenchidas e com espaçamentos excessivos, provavelmente ocasionados pela baixa qualidade na argamassa de rejuntamento e erros de execução, associado ao tráfego de veículos e intempéries climáticas, acarreta a formação das diversas patologias citadas anteriormente como as panelas, que contribuem para a entrada de água nas camas subjacentes ocasionando os abatimentos e afundamentos do pavimento.

Diante dos resultados obtidos, quando se compara os pavimentos pelo tipo de pedra utilizada no seu revestimento, percebeu-se que o pavimento por meio de pedras calcárias apresenta um maior número de patologias em relação ao pavimento por meio de pedras graníticas, sendo estas 70% superior. A Figura 19 melhor exemplifica esses resultados.

Figura 19: Percentual de patologias pelo tipo de revestimento



Fonte: Autor, 2022.

Cabe destacar que a patologia juntas com desgaste ou sem preenchimento (37,5%) somente se verificou no pavimento por meio de pedras calcárias, o que justifica a maior ocorrência das demais de patologias nesse tipo revestimento, que juntas representam 85% do total.

Todas as patologias citadas na Tabela 4 se originam de alguma forma das causas listadas a seguir, acontecendo de forma isolada ou conjunta:

- Problemas durante a execução do pavimento, desde a compactação das camadas até a execução inadequada das juntas de rejuntamento;
- Utilização de materiais inadequados;

- Drenagem deficiente ou inexistente;
- Falta de manutenção ou feita de forma errada;
- Problemas de dimensionamento;
- Falta de intertravamento entre as peças.

De acordo com Rocha (2004) é necessário diagnosticar as patologias dos pavimentos para a adoção de procedimentos para restauração, reparos e manutenção. Com isso tem-se que determinar quais os defeitos e suas prováveis causas, determinar medidas e soluções tecnológicas e verificar qual dessas medidas é a mais viável, atendendo critérios econômicos e de projeto.

6 CONCLUSÃO

O estudo de pavimentação por meio de pedras de paralelepípedos é fundamental para um conhecimento mais aprofundado sobre o assunto, já que esse tipo de pavimento é muito utilizado principalmente nas pequenas e médias cidades, assim, conhecendo suas condições, a partir de uma avaliação prévia das prováveis causas pode-se promover medidas de correção, tendo-se o cuidado de definir a causa por meio de ensaios e investigação de campo.

Entender as causas permite um melhor planejamento para uma manutenção mais preventiva do que corretiva, ou até mesmo restaurações parciais, sempre com o objetivo de melhorar o conforto e segurança dos usuários. Em relação às patologias dos pavimentos, a investigação das causas é a melhor ferramenta para gerenciá-los da forma correta, evitando ações desnecessárias que podem não solucionar o problema e contribuir ainda para o surgimento de outros problemas.

Todos os resultados obtidos se mostraram importantes para o trabalho, durante o acompanhamento da execução, coleta da argamassa de rejuntamento, como também durante a análise laboratorial e no levantamento das manifestações patológicas. Dentre as manifestações patológicas encontradas as mais recorrentes foram as falhas nas juntas de espaçamentos devido às distâncias excessivas entre as peças e a baixa qualidade da argamassa de rejuntamento do pavimento por meio de pedras calcárias, que totalizaram 37,5% de todas as patologias. Os resultados do ensaio de resistência à compressão de corpos-de-prova da argamassa de rejuntamento apresentaram um melhor desempenho na idade de 28 dias, obtendo uma resistência média de 10,31 MPa.

Os resultados confirmam que devido ao espaçamento demasiado entre as peças de paralelepípedos ocasiona a manifestação de patologias do pavimento, principalmente quando associado à baixa qualidade da argamassa de rejuntamento, fato que se torna mais recorrente no pavimento por meio de pedras calcárias.

Com a realização do presente trabalho caracterizou-se o método executivo da implantação de pavimentos em paralelepípedos no município de Condado-PB, verificou-se a ocorrência de desconformidade na execução dessas pavimentações, onde a desigualdade nos tipos de pedras empregadas resulta em uma maior manutenção no pavimento por meio de pedras de calcário. Diversas observações foram feitas com relação ao estado de serventia, defeitos de superfície, falta de manutenção ou má execução dos serviços de implantação dos pavimentos, o que prejudica o conforto e a segurança dos usuários.

Um estudo mais aprofundado das patologias do pavimento com pedras calcárias da rua Descartes Leite Fontes pode ser feito posteriormente, para obter mais informações técnicas, incluindo a realização de ensaios com corpos-de-prova extraídos da argamassa de rejuntamento do pavimento. Acredita-se que nessa rua possa ter ocorrido algum problema de execução durante a implantação do pavimento, visto que praticamente todo o trecho da referida rua apresenta problemas de desprendimento das peças de paralelepípedos, devido à baixa qualidade na argamassa de rejuntamento, sendo que a manutenção realizada pela prefeitura, não soluciona o problema existente na rua por completo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AÏTCIN, P.C. **Concreto de Alto Desempenho**, tradução de Geraldo G. Serra – São Paulo – Editora Pini, 2000.

ALMEIDA, M. B. D.; PAIVA, I. V. S. **Levantamento das Patologias no Calçamento da Cidade de Ouro Preto, MG, Visando Melhorar O Seu Gerenciamento**. 2019.

ARAÚJO, C. H. N. L. **Análise da regularização das obras particulares na cidade de Condado-pb**. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) Instituto Federal da Paraíba (IFPB), 2021.

ARAÚJO, M. A.; SANTOS, J. P.; PINHEIRO, H. P.; CRUZ, Z. V. Análise Comparativa de Métodos de Pavimentação – Pavimento Rígido (concreto) x Flexível (asfalto). **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo Do Conhecimento**. Ano 01, Edição 11, Vol. 10, pp. 187-196, Novembro de 2016.

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica: materiais projetos e restauração**. São Paulo: Oficina de Texto, 2007. 558p.

BARTZ, R. **Uso: Pavimento rígido e flexível**. Porto Alegre – RS, 2017.

BASTOS, M. A. **Caracterização do subleito para pavimentação em paralelepípedos: estudo de caso na UFERSA**. 2019.

BERRES, G. W. **Análise de execução e desempenho de revestimento asfáltico sobre vias pavimentadas com pedras irregulares**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Santa Rosa, 2018.

BERTOLLO, S. A. M. **Considerações sobre a gerência de pavimentos urbanos em nível de rede**. São Carlos: Edusp, 1997. 221 p.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Manual de Pavimentação**, (IPR. Publ., 719). 3. Ed. Rio de Janeiro, 2006.

CAMPOS, H. F. **Concreto de alta resistência utilizando pó de pedra como substituição parcial do cimento Portland: Estudo experimental**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

CARVALHO, D. B. A. **Considerações sobre a utilização de pavimentos intertravados e betuminosos em áreas urbanas**. 2010.

GONZALEZ, C. **Pavimento rígido como alternativa para pavimentação estudo de caso: Rua Padre Dionísio da Cunha Laudt-Tubarão/SC**. Engenharia Civil-Tubarão, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Cidades e Estados**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pb/condado.html>> Acesso em: 09 de nov. de 2021.

DIAS, L. L.; MENEGAZZO, A. P. M.; QUINTEIRO, E.; SERAFIM, M. A. Desenvolvimento de um novo produto cerâmico para pavimentação de passeios e áreas públicas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 155-165, out./dez. 2016.

JÚNIOR, F. A. **Manual de Pavimentação Urbana**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1992.

MARQUES, G. L. O. **Pavimentação**. Juiz de Fora: Geraldo Luciano de Oliveira Marques, 2006.

MEDEIROS, J. H. D. **Projeto de pavimentação a paralelepípedo pelo método convencional com drenagem superficial em diversas ruas da cidade de Caicó/RN**. Estado do Rio Grande Norte – Caicó, 2015.

MEDINA, J. **Mecânica dos Pavimentos**. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 1997.

MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. **Mecânica dos Pavimentos**. Rio de Janeiro, Ed 3. Cap 1. 2015.

METODO bripar de pavimentação. **Invenções brasileiras**, 2008. Disponível, em: <<http://www.invencoesbrasileiras.com.br/metodo-bripar-de-pavimentacao/>> Acesso em: 19 de set. de 2021.

NEVILLE A. M. **Propriedades do Concreto**. Tradução de GIAMMUSSO, S. E. 2ª.ed. São Paulo: Pini, 1997.

NÚÑEZ, W. P. **Análise experimental de pavimentos rodoviários delgados com basaltos alterados**. 1997.

ODA, S. **Notas de aula de Pavimentação A**, cursada na Universidade Federal do Rio de Janeiro no segundo semestre de 2016.

ODA, S. **Análise da viabilidade técnica da utilização do ligante asfalto-borracha em obras de pavimentação**. 2000. Tese de Doutorado. University of São Paulo.

PATRIOTA, M.B. **Restauração e Manutenção de Vias Urbanas**. Curso de Especialização em Projeto de Infra - Estruturas Viárias em Meio Urbano. Universidade Católica de Pernambuco. Notas de Aula. Recife, 2004

PAVIMENTAÇÃO a paralelepípedos. **Construtora CLC**, 2017. Disponível, em: <<http://www.clcconstrutora.com.br/2017/>> Acesso em: 19 de set. de 2021.

PELLENZ, E. **Manual de utilização de paralelepípedo e alvenaria poliédrica** – Gerência de Fomento e Economia Mineral. Minerais do Paraná (1983).

PEREIRA, V. B. (2015). **Transportes História, crises e caminhos**. Editora Civilização Brasileira.

PINTO, S.; PREUSSLER, E. **Pavimentação Rodoviária**. Rio de Janeiro: Editora Copiarte, 2001.

PREGO, A. S. D. S. **A memória da Pavimentação no Brasil**. Rio de Janeiro, ABPv 2001.

QUIRINO, M. E. P. **Recuperação de pavimentos flexíveis em áreas de taxiamento de aeronaves: um estudo de caso da pista FOX-2 do Aeroporto Internacional Tancredo Neves – MG**. 2013. 79 p. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

RIBEIRO, T. P. Estudo Descritivo das Principais Patologias em Pavimento Flexível. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Edição 04. Ano 02, Vol. 01. pp 733-754, Julho de 2017.

ROCHA, R. S. **Patologias de pavimentos asfálticos e suas recuperações–estudo de caso da Avenida Pinto de Aguiar**. 2004.

SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação**. São Paulo: Editora PINI, 1997.

SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2007. 761 p.

SILVA, O. G. **Acompanhamento de recuperação estrutural de pavimento urbano de concreto e análise dos materiais empregados**. 2009. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

SILVEIRA, L. A. X. **Contribuição para um modelo de seleção de revestimentos de pavimentos em ambientes urbanos (caso de Curitiba)**. Curitiba, 2003.

SIQUEIRA, A. T. F. **Análise Comparativa entre o Pavimento Intertravado Permeável e Pavimento em Paralelepípedo**. 51 f. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) Centro Universitário de João Pessoa (UNIPÊ), 2018.