



**FACULDADE VÉRTIX TRIRRIENSE – UNIVÉRTIX
SOCIEDADE EDUCACIONAL GARDINGO LTDA. – SOEGAR**

TRABALHOS DE CONCLUSÃO DE CURSO

ENGENHARIA CIVIL 2023/02



**COORDENAÇÃO DE CURSO:
PROF^a. M.Sc. RITA DE CÁSSIA TEIXEIRA ASSIS**

**PROFESSOR RESPONSÁVEL:
PROF. D.Sc. VITOR IOTTE MEDEIROS**

**TRÊS RIOS – RJ
2023**

TRABALHOS PRESENTES NESTE VOLUME

ESTUDO DE CASO: REFORMA DE FACHADA REVESTIDA COM PINTURA DE UM EDIFÍCIO EM TRÊS RIOS/RJ

TECNOLOGIAS PARA A CONSTRUÇÃO DE ELEMENTOS PRÉ-MOLDADOS

ANÁLISE DOS IMPACTOS E BENEFÍCIOS DAS CERTIFICAÇÕES AMBIENTAIS NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

UMA ANÁLISE PARAMÉTRICA DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

ESTUDO DE CASO - PLANEJAMENTO PARA REDUÇÃO DE CUSTOS NA REFORMA DO PRÉDIO DA VIGILÂNCIA AMBIENTAL NO MUNICÍPIO DE PARAIBA DO SUL-RJ

**ALESSANDRA GONÇALVES DE SOUZA ALVES
CAMILA DOS ANJOS OKADA**

**ESTUDO DE CASO: REFORMA DE FACHADA REVESTIDA COM
PINTURA DE UM EDIFÍCIO EM TRÊS RIOS/R**

Trabalho de Conclusão de Curso – TCC –
apresentado ao curso de ENGENHARIA CIVIL da
Faculdade Univértix, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. M.Sc. Rita de Cássia Teixeira
Assis

Linha de Pesquisa: Patologias na Construção

**TRÊS RIOS – RJ
2023**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que sempre esteve e continua ao meu lado em todos os momentos.

Agradeço aos meus pais e ao meu noivo pelo o apoio incondicional e compreensão durante os momentos desafiadores desta jornada. Suas palavras de estímulo e encorajamento foram a luz que me guiou nos momentos mais difíceis.

Agradeço a todos os meus amigos de classe que compartilharam ideias, experiências e momentos de aprendizado, agradeço pela colaboração e amizade durante esses anos.

Agradeço à professora Rita de Cássia, por aceitar orientar este trabalho, pela paciência e incentivo ao longo de todo o processo.

Agradeço à instituição de ensino pela infraestrutura e recursos oferecidos, bem como aos professores que desempenharam um papel significativo no meu crescimento acadêmico e profissional.

Este trabalho não seria possível sem o apoio e contribuição de cada um de vocês. A todos, o meu sincero agradecimento.

Alessandra Gonçalves, 2023.

Agradeço, em primeiro lugar, aos meus pais, Sandra e Celmo, à minha irmã Priscila, à minha filha Lavínia e ao meu noivo Ivan por serem meu alicerce e fonte inesgotável de amor, apoio, paciência e dedicação.

Agradeço aos doutores Adilson e Jeferson pelo companheirismo, pelos ensinamentos, pelo incentivo e, sobretudo, por nutrir meu grande apreço pela profissão que escolhi.

Agradeço a todos os professores da Faculdade Univértix, que, com o costumeiro zelo, propiciaram-me uma formação humana, técnica e consciente a respeito da Engenharia.

Agradeço a todos os amigos que acreditaram em mim, em especial Alessandra, Esdras, João Vitor, Handerson, Daniel, Rafael, Mariana e Susanne que sempre me motivaram, me elevaram e que tanto me incentivaram na reta final da graduação. A todos vocês, minha genuína gratidão

Camila dos Anjos Okada, 2023.

RESUMO

ALESSANDRA GONÇALVES DE SOUZA ALVES.; CAMILA DOS ANJOS OKADA. **Estudo de Caso: Reforma de Fachada Revestida Com Pintura de um Edifício em Três Rios/Rj.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Faculdade Vértix – Univértix, Três Rios/RJ.

Com o passar do tempo, é natural que as edificações envelheçam, e esse processo pode ser acelerado devido à ausência de manutenção e ao surgimento de manifestações patológicas. Essas manifestações, muitas vezes, têm origem em falhas na execução durante a construção ou na falta de manutenção por parte dos residentes do edifício. Em virtude do envelhecimento natural das edificações e sendo a fachada um dos locais mais visíveis, o presente estudo de caso trata-se de uma pesquisa bibliográfica e de campo, incluindo relatórios fotográficos. Esse método permitiu uma análise aprofundada do processo de reforma de fachadas e seus impactos na longevidade das construções, destacando manifestações patológicas, delineando as etapas da reforma e ressaltando os benefícios da manutenção. Com base em uma minuciosa inspeção realizada no edifício em estudo, foi possível constatar diversas manifestações patológicas. Entre essas, destacam-se a notável descamação da camada de pintura aplicada e as sujidades como fuligem, além de pinturas mal aderidas e mofo. Após a fase de inspeção, a empresa responsável pela reforma elaborou um plano de execução para iniciar os procedimentos de recuperação da fachada. Com base nos resultados obtidos ficou evidente a importância da manutenção predial para a preservação e durabilidade das edificações ao longo do tempo.

Palavras-Chave: Manifestação patológica; vida útil, manutenção predial; fachada; normas técnicas.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	2
2.1. Justificativa	3
2.2. Objetivos	3
1.1.1. Objetivos gerais	3
1.1.2. Objetivos específicos	3
2.0 REFERENCIAL TEÓRICO	4
2.3. Desempenho e vida útil das edificações	4
2.4. Manutenção predial	7
2.5. Manifestações patológicas em fachadas	9
METODOLOGIA	10
RESULTADOS E DISCUSSÕES	11
CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

1. INTRODUÇÃO

Após finalizada, uma edificação deve proporcionar condições de uso e operação que, se empregadas de maneira adequada, sejam capazes de resistir a manifestações patológicas durante um período específico de tempo, assegurando o conforto dos seus usuários (BAMBIRRA, 2019).

Segundo Abreu (2020) as manifestações patológicas estão cada vez mais presentes nas edificações residenciais, gerando riscos, desconforto aos usuários, custos elevados de reparo, além de causar a desvalorização do imóvel. Existem diversos tipos de defeitos, muitos deles ocasionados no processo de construção ou até mesmo a falta de manutenção do edifício.

A atividade associada à manutenção predial é tratada pelas prescrições previstas na NBR 5674 (ABNT, 2012) – Manutenção de edificações: Requisitos para o sistema de gestão de manutenção, a qual foi lançada com o intuito de descrever os procedimentos e requisitos a serem atendidos pelas edificações, a fim de que mantenham seu desempenho ao longo dos anos.

De acordo com Abreu (2020) a manutenção de qualquer edificação é feita não somente com o propósito de conservação do patrimônio, mas também objetiva evitar que níveis de desempenho inferiores impeçam seu uso. Por meio dela pode-se garantir a extensão da vida útil da edificação.

Dentre os conceitos apresentados pela NBR 15575 (ABNT, 2013), que é a Norma de Desempenho, está o conceito de vida útil das edificações. Vida Útil de uma edificação ou “VU” é a quantidade de tempo em que a edificação é capaz de funcionar de acordo com os padrões estabelecidos, sem apresentar falhas ou deteriorações que exijam intervenções corretivas.

Atualmente, a fim de garantir que as edificações atendam às necessidades dos usuários é essencial que elas cumpram os requisitos de desempenho estabelecidos na NBR 15575. Essa norma define critérios quantitativos e qualitativos, juntamente com os níveis de desempenhos esperados. Para verificar a conformidade com esses requisitos, a norma estabelece métodos, tais como análise do projeto, ensaios laboratoriais, protótipos e simulação computacional (GOMIDE, GULLO E NETO, 2014).

Os benefícios ocasionados aos clientes e ao construtor pela execução da manutenção nas edificações são vários, dentre eles está a valorização do imóvel no mercado imobiliário, a garantia de segurança, conforto e otimização do tempo de trabalho (VILLANUEVA, 2015).

Desta maneira, a manutenção em edificações visa restaurar e/ou substituir componentes danificados da estrutura, com o objetivo de deixá-la em um estado favorável de desempenho e garantir que ela retorne ao cumprimento de suas funções originais (CRUZ et al., 2017).

2.1. **Justificativa**

As fachadas exercem um papel de fundamental importância para a garantia da durabilidade do sistema dos edifícios como um todo, uma vez que têm como uma de suas principais funções a proteção das vedações verticais contra os diversos agentes agressivos. Levando em consideração o surgimento das manifestações patológicas precoces e partindo da necessidade das edificações em manutenções periódicas, o presente estudo de caso tem como problemática: analisar o processo de reforma da fachada predial e apresentar os procedimentos indicados, a fim de aumentar a vida útil da edificação.

2.2. **Objetivos**

1.1.1. Objetivos gerais

- Investigar o processo de reforma de fachada predial revestida com pintura e sua influência na durabilidade das edificações.

1.1.2. Objetivos específicos

- Identificar as manifestações patológicas presentes na fachada;
- Apresentar as etapas indicadas para realização da reforma;
- Apontar os benefícios da manutenção das fachadas.

2.0 REFERENCIAL TEÓRICO

2.3. Desempenho e vida útil das edificações

O desempenho pode ser caracterizado como o comportamento ou a capacidade de atendimento aos requisitos estabelecidos durante a utilização de uma edificação. No contexto específico das edificações, o desempenho refere-se às condições essenciais de habitabilidade, tais como conforto térmico, conforto acústico, higiene, segurança, entre outras, que devem ser asseguradas para permitir que indivíduos ou grupos possam utilizar a edificação ao longo de determinado período de tempo (POSSAM e DEMOLINER, 2013).

Em 1984, a ISO (International Organization for Standardization), uma organização dedicada à padronização em nível internacional, divulgou a diretriz ISO 6241 (ISO, 1984), que introduziu a aplicação do conceito de desempenho ao estabelecer uma lista de requisitos para usuários de imóveis (Tabela 1).

Tabela 1 - Requisitos dos usuários ISO 6241

Categoria	Exemplos
1. Requisito de estabilidade	Resistência mecânica a ações estáticas e dinâmicas, tanto individualmente quanto em combinação. Resistência a impactos, ações abusivas intencionais ou não, ações acidentais, efeitos cíclicos.
2. Requisitos de segurança contra incêndios	Risco de irrupção e de difusão de incêndio, respectivamente. Efeitos psicológicos de fumaça e calor. Tempo de acionamento de alarme (sistemas de detecção e de alarme). Tempo de evacuação da edificação (rotas de saída). Tempo de sobrevivência (compatibilização do fogo)
3. Requisitos de segurança em uso	Segurança relativa a agentes agressivos (proteção contra explosões, queimaduras, pontos e bordas cortantes, mecanismos móveis, descargas elétricas, radioatividade, contato ou inalação de substâncias venenosas, infecção). Segurança durante movimentação e circulação (limitação de escorregamento nos pisos, vias não obstruídas, corrimões, etc.). Segurança contra a entrada indevida de pessoas e/ou animais.
4. Requisitos de vedação	Vedação contra água (de chuva, do subsolo, de água potável, de águas servidas, etc.). Vedação de ar e de gás. Vedação de poeira e de neve.

5. Requisitos térmicos e de umidade	Controle de temperatura do ar, da radiação térmica, da velocidade do ar e da umidade relativa (limitação de variação no tempo e no espaço, resposta de controles). Controles de condensação.
6. Requisitos de pureza do ar	Ventilação. Controle de odores.
7. Requisitos acústicos	Controle de ruídos internos e externos (contínuos e/ou intermitentes). Inteligibilidade sonora. Tempo de reverberação
8. Requisitos visuais	Iluminação natural e artificial (iluminação necessária, estabilidade, contraste luminoso e proteção contra luz muito forte). Luz solar (insolação). Possibilidade de escuridão. Aspectos de espaços e de superfícies (cor, textura, regularidade, nivelamento, verticalidade, horizontalidade, perpendicularidade, etc.). Contato visual, internamente e com o mundo exterior (encadeamentos e barreiras referentes à privacidade, proteção contra distorção ótica).
9. Requisitos dinâmicos	Limitação de vibrações e acelerações de todo o conjunto (transientes e contínuas). Comodidade dos pedestres nas áreas expostas ao vento. Facilidade de movimentação (inclinação das rampas, disposição dos degraus de escadas). Margem de manobras (manipulação de portas, janelas, controle sobre equipamentos, etc.).
1. Requisitos de higiene	Instalação para cuidados e higiene do corpo humano. Suprimento de água. Condições de feitura e limpeza.

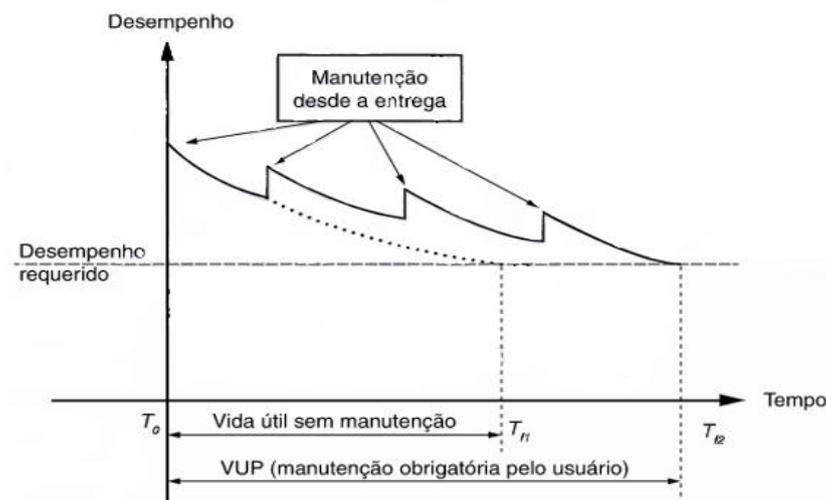
Fonte: BORGES, 2008.

A Norma de Desempenho (NBR 15575) define vida útil (VU) como o período de tempo em que um edifício e seus elementos satisfazem as condições de desempenho para as quais foram projetadas (ABNT, 2013).

Segundo Vianna (2020), como as edificações têm um tempo de vida útil longo, é imprescindível a realização de manutenções. Mas para sua correta execução, é necessário que o projeto do empreendimento apresente condições favoráveis para realização das manutenções, ou seja, boa manutenibilidade.

Conforme mostra a Figura 1, pode-se observar a influência da manutenção em uma edificação. A falta de realização da mesma pode trazer diminuição do desempenho, em um maior período de tempo.

Figura 1: Influência da manutenção no desempenho da edificação.



Fonte: ABNT NBR 15575, 2013.

Considerando as diversas situações presentes dentro da edificação (operação e uso pelos usuários), a NBR 15575, Parte 1 - Requisitos Gerais, estabelece critérios para atender os usuários conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1: Exigências do Usuário

Exigências do usuário	Requisitos e critérios
Habitabilidade	Conforto térmico Conforto acústico Conforto lumínico Conforto tátil e antropo dinâmico Estanqueidade Funcionalidade e acessibilidade
Segurança	Segurança contra o fogo Segurança Estrutural Segurança no uso e na operação
Sustentabilidade	Durabilidade Impacto ambiental

Fonte: Adaptada NBR 15575-1, 2013

Para garantir a vida útil dos sistemas da edificação, a NBR 5674 que trata da manutenção e a NBR 14037 que regulamenta o manual do usuário, informam que

após a conclusão da obra, a empresa responsável pela construção deve realizar a entrega ao edifício o manual de uso da edificação, recomendando o período para realização da manutenção de cada sistema.

Portanto, vale ressaltar que a vida útil das edificações não é uma garantia de que a construção perderá completamente sua funcionalidade. Pelo contrário, a NBR 15575 assegura que a edificação seja projetada, construída e mantida de forma a garantir um desempenho aceitável ao longo do tempo. Após esse período de vida útil estabelecido, a construção pode continuar a ser utilizada, desde que sejam realizadas manutenções adequadas e avaliações de segurança e desempenho.

2.4. Manutenção predial

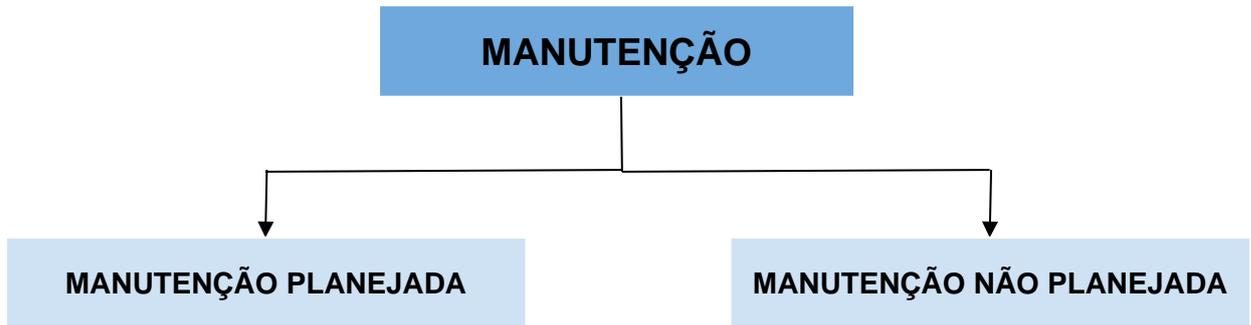
A NBR 5674 define manutenção predial como o conjunto de atividades técnicas e administrativas destinadas a preservar ou restabelecer a condição operacional de uma edificação, incluindo suas instalações e equipamentos, de forma a garantir a segurança, o conforto e a funcionalidade da edificação (ABNT, 2012).

Segundo Souza e Ripper (1998) a manutenção predial é o conjunto de atividades necessárias que garantem o desempenho satisfatório ao longo da sua vida útil, ou seja, a execução de rotinas com a finalidade de prolongar a vida útil da obra. Neste contexto, a presença do usuário ou proprietário é vista como um elemento ativo, uma vez que eles compartilham a responsabilidade pela manutenção e arcam com os custos do sistema de manutenção proposto pelos projetistas.

De acordo com Paes (2018), a manutenção predial está relacionada à estrutura da construção, visto que um processo de manutenção predial adequado pode não só corrigir as falhas estruturais de uma edificação, como conservá-la sob a ótica patrimonial.

De forma geral, segundo a NBR 5462 - Confiabilidade e Mantenabilidade, há dois tipos de manutenções, conforme ilustra a Figura 2.

Figura 2: Tipos de Manutenção



Fonte: Adaptada NBR 5462, 2012.

A NBR 5462 apresenta a definição de cada uma delas em função da previsão de execução das atividades de manutenção, sendo:

- a) **Manutenção Planejada:** caracterizada por serviços cuja realização é organizada antecipadamente, tendo por referência solicitações dos usuários, estimativas da durabilidade esperada dos componentes das edificações em uso ou relatórios de inspeções periódicas sobre o seu estado de deterioração
- b) **Manutenção Não-Planejada:** caracterizada por serviços não previstos na manutenção planejada, incluindo a manutenção de emergência, caracterizada por serviços que exigem intervenção imediata para permitir a continuidade do uso das edificações ou evitar graves riscos ou prejuízos pessoais e patrimoniais aos seus usuários ou proprietários.

Segundo ainda a NBR 5462, a manutenção definida como planejada possui três classificações:

- a) **Preditiva:** Manutenção realizada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinados a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item.
- b) **Preventiva:** é a atividade que entra em ação antes que haja a necessidade de reparo. Exige uma programação, com datas preestabelecidas obedecendo a critérios técnicos determinados pelo fornecedor ou fabricante do produto. É fundamental que haja o registro de todas as atividades executadas;
- c) **Corretiva:** Manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida.

Alves (2013) apresenta também uma divisão para as manutenções caracterizadas como não planejadas:

- a) Manutenção corretiva: tem como objetivo a localização e reparação de anomalias, defeitos e/ou quebras propriamente ditas, em equipamentos que operam em regime de trabalho contínuo.
- b) Manutenção Ocasional: é a forma mais abrangente e menos expressiva da manutenção não-planejada, pois para efetuar-la, não é necessário um controle preciso, nem mesmo uma coleta e manipulação de registro de manutenção

2.5. Manifestações patológicas em fachadas

Manifestações patológicas podem ser caracterizadas como o estudo dos danos, deformações e insuficiências ocorridos nas construções, que podem causar consequências desde a estética, até a segurança e conforto dos usuários da edificação. Além disso, o estudo das patologias também abrange as soluções, terapias e prevenções, ou seja, a resolução desses problemas (NAZÁRIO, 2011).

São diversos os tipos de manifestações patológicas, ao qual cada uma possui suas variáveis específicas de causas, consequências e correções. Em elementos de concreto armado, as patologias devem ser tratadas com mais atenção, uma vez que são mais preocupantes, diante de métodos de reparo mais complexos, que se não for realizado em tempo hábil pode culminar no colapso de uma construção (DA SILVA, 2021).

O estudo de manifestações patológicas em concreto armado se mostra relevante também pela preferência cultural brasileira de utilizar este método construtivo nos mais diversos tipos de obras (SOUZA, 2021).

Segundo Ferreira Filho (2021) as manifestações mais comuns são as fissuras, o destacamento e a desagregação, que podem surgir de maneira isolada ou simultânea nas fachadas.

Existem diferentes formas de abordar e tratar as patologias dos sistemas de revestimento de fachadas. Pedro *et al.* (2002) as classifica conforme suas origens em:

- a) Congênitas - originárias da fase do projeto, em função da não observância das Normas Técnicas, ou de erros e omissões dos profissionais, que resultam em falhas no detalhamento e concepção inadequada dos revestimentos.

- b) Construtivas - têm origem relacionada à fase de execução da obra, resultante do emprego de mão-de-obra despreparada, produtos não certificados e ausência de metodologia para assentamentos das peças.
- c) Adquiridas - ocorrem durante a vida útil dos revestimentos, sendo resultado da exposição ao meio em que se inserem, podendo ser naturais, decorrentes da agressividade do meio, ou decorrentes da ação humana, em função de manutenção inadequada ou realização de interferência incorretas nos revestimentos, danificando as camadas e desencadeando um processo patológico.
- d) Acidentais - caracterizam-se pela ocorrência de algum fenômeno atípico, resultado de uma solicitação incomum, como a ação da chuva com ventos de intensidade superior ao normal, recalques e, até mesmo incêndio. Sua ação provoca esforços de natureza imprevisível, especialmente na camada de base e sobre os rejuntas, quando não atinge até mesmo as peças, provocando movimentações que irão desencadear processos patológicos em cadeia.

METODOLOGIA

O presente estudo será conduzido em um edifício residencial multifamiliar de 17 pavimentos, entre março e setembro de 2023, situado na região central da cidade de Três Rios-RJ, onde está sendo realizada uma reforma predial, com o propósito de assegurar a segurança e a integridade da edificação.

No primeiro momento, foi utilizado uma pesquisa bibliográfica com análise qualitativa abrangente sobre o processo de reforma de fachadas, manutenção predial e identificação de patologias em edificações, baseadas em fontes científicas como normas técnicas, livros, artigos, dissertações e teses, obtidas através do Google Acadêmico.

Segundo Köche (2011), a pesquisa bibliográfica tem como finalidade primordial a realização de um mapeamento, conhecimento e análise aprofundada das contribuições teóricas mais relevantes em relação a um objeto de pesquisa específico. De acordo com Trigueiro et al. (2014), a pesquisa qualitativa é empregada como uma abordagem metodológica em pesquisas teóricas voltadas para um objeto específico.

No segundo momento da pesquisa, será realizado um estudo de caso com o objetivo de investigar em detalhes todas as etapas envolvidas no processo de reforma

de fachada, identificação das patologias existentes e apresentação dos benefícios da manutenção das fachadas. O estudo de caso empregará registros visuais, através de um relatório fotográfico e um caderno de campo, como métodos de coleta de dados.

Segundo Yin (2001), a abordagem de estudo de caso possibilita a condução de uma investigação que preserva as características holísticas e significativas dos eventos da vida real. Essa abordagem abrange diversos contextos, como ciclos de vidas individuais, processos organizacionais e administrativos, mudanças ocorridas em regiões urbanas, relações internacionais e a maturação de setores específicos.

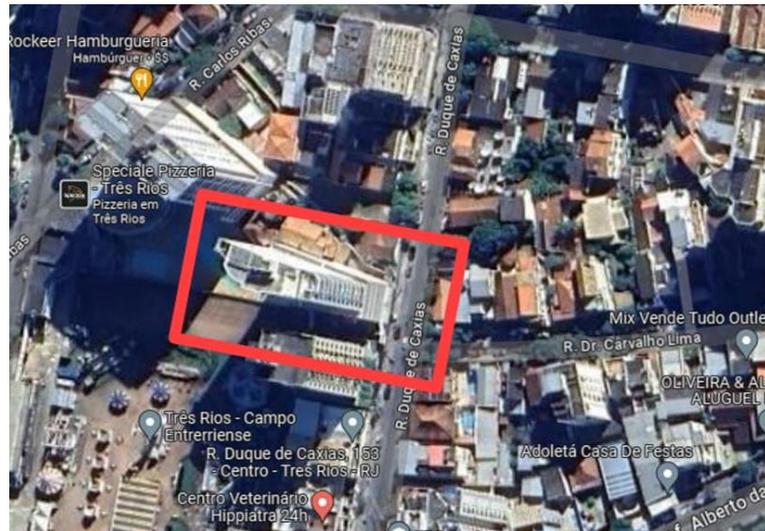
Através do registro fotográfico será possível documentar todas as etapas da reforma, desde o início até a conclusão completa do processo, enquanto as anotações detalhadas no caderno de campo descreverão as atividades realizadas, os materiais utilizados e as condições encontradas.

As imagens obtidas serão apresentadas e analisadas na seção dos resultados e discussões, por meio de uma análise comparativa das condições antes e depois da reforma, evidenciando os benefícios da manutenção das fachadas e a eficácia do processo realizado, destacando a importância da manutenção predial e reforma de fachadas para a segurança e a integridade estrutural da edificação.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

No centro da cidade de Três Rios, Rio de Janeiro, encontra-se o edifício em análise (representado na figura 3 e 4), o qual foi entregue no ano de 2015. Esse imóvel apresenta uma estrutura que se estende por 16 andares, atingindo uma altitude total de 48 metros. Sua finalidade primordial é estritamente residencial. E quanto à sua aparência exterior, as fachadas são revestidas com material do tipo grafiato, conferindo-lhes uma textura característica.

Figura 3: Localização do Edifício



Fonte: Google Maps, 2022.

Figura 4: Vista da Edificação



Fonte: Próprios Autores, 2023.

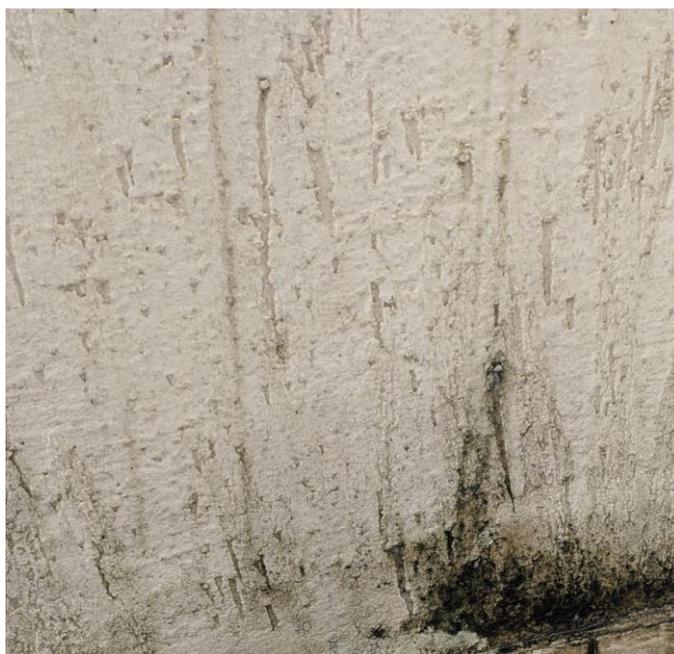
A pesquisa bibliográfica desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento deste trabalho, fornecendo o sólido embasamento teórico

necessário para sustentar e fundamentar as ideias apresentadas. Através da análise crítica e da revisão de uma ampla gama de fontes bibliográficas, como livros, artigos acadêmicos e outras publicações relevantes, foi possível explorar diferentes perspectivas, teorias e abordagens relacionadas ao assunto, enriquecendo assim a compreensão do tema e contribuindo para a formulação de argumentos consistentes.

Antes de iniciar os trabalhos de reforma, uma minuciosa inspeção foi realizada no edifício em questão, visando a identificação das principais manifestações patológicas que poderiam afetar sua estrutura e integridade. Dentre essas manifestações, algumas se destacavam de forma notável na fachada do edifício, tornando-as facilmente observáveis. Essa análise detalhada contribuiu para um entendimento abrangente do estado do edifício e orientou as ações subsequentes para garantir a segurança e qualidade da execução da obra.

Na fase inicial da inspeção realizada, foram identificadas diversas manifestações patológicas na estrutura em análise. Dentre essas manifestações, merecem destaque a notável descamação da camada de pintura aplicada e a sujidades como fuligem, além de pinturas mal aderidas e mofo, conforme ilustrado nas figuras 5 e 6. Estas anomalias foram identificadas como potenciais problemas que requerem uma investigação mais aprofundada e possíveis intervenções a fim de assegurar a integridade e longevidade da estrutura.

Figura 5: Bolor



Fonte: Próprios Autores, 2023.

Figura 6: Descamação da camada de pintura.



Fonte: Cedida pela empresa, 2023.

Ainda durante a inspeção foi verificado que a vedação das janelas apresentavam orifícios pelos quais a água escoava, causando infiltrações dentro dos apartamentos.

Para viabilizar a manutenção no edifício em questão, procedeu-se com a contratação de uma empresa especializada em reformas prediais, a qual elaborou o seguinte plano de execução da obra:

1. Colocação da Tela Fachadeira;
2. Hidrojateamento da Fachada;
3. Calafetação das Janelas e Pintura dos Suportes dos Ar-Condicionados;
4. Raspagem e Regularização;
5. Recuperação do Reboco e Fissuras;
6. Emassamento com Textura Grafiato;
7. Aplicação do Primer;
8. Pintura Externa.

A reforma teve início de forma escalonada, abordando uma fachada por vez, devido ao edifício em análise ser estritamente residencial e estar em plena utilização.

A primeira etapa da obra foi a colocação da tela fachadeira ou tela de proteção, conforme mostra a Figura 7. Essa tela é fixada de maneira temporária na fachada a fim de garantir a segurança em obras em altura e prevenir que detritos, materiais ou ferramentas caiam e causem prejuízos materiais e humanos.

Figura 7: Tela Fachadeira.



Fonte: Cedida pela empresa, 2023.

Na segunda etapa foi realizado o hidrojateamento da fachada, no qual consiste em uma mistura dosada de água e cloro, conforme ilustra a Figura 8. Aplicados com jatos de alta pressão para limpeza, remoção de sujeira, detritos, tinta velha, mofo,

bolor e outros resíduos que podem se acumular na superfície. Abaixo as Figuras 9 e 10 mostram a aplicação do hidrojateamento.

Figura 8: Mistura água + cloro



Fonte: Cedida pela empresa, 2023.

Figura 9: Hidrojateamento.



Fonte: Cedida pela empresa, 2023.

Figura 10: Remoção por hidrojateamento.



Fonte: Cedida pela empresa, 2023.

A terceira etapa consistiu na calafetação das janelas utilizando o silicone, escolhido devido à sua capacidade de resistir às variações causadas por mudança de temperatura, oscilações na pressão do vento e à sua eficácia na prevenção de infiltrações, conforme mostra a Figura 11. Além disso, realizou-se a pintura dos suportes dos aparelhos de ar-condicionado prevenindo a corrosão e melhoria na estética.

Figura 11: Calafetação das Janelas



Fonte: Cedida pela empresa, 2023.

Na quarta etapa do processo, procedeu-se à raspagem, que consistiu na remoção completa das camadas indesejadas existentes na superfície. Adicionalmente, realizou-se a etapa de regularização, visando à preparação da superfície de forma a assegurar a qualidade e a durabilidade dos revestimentos subsequentes, conforme ilustra a Figura 12.

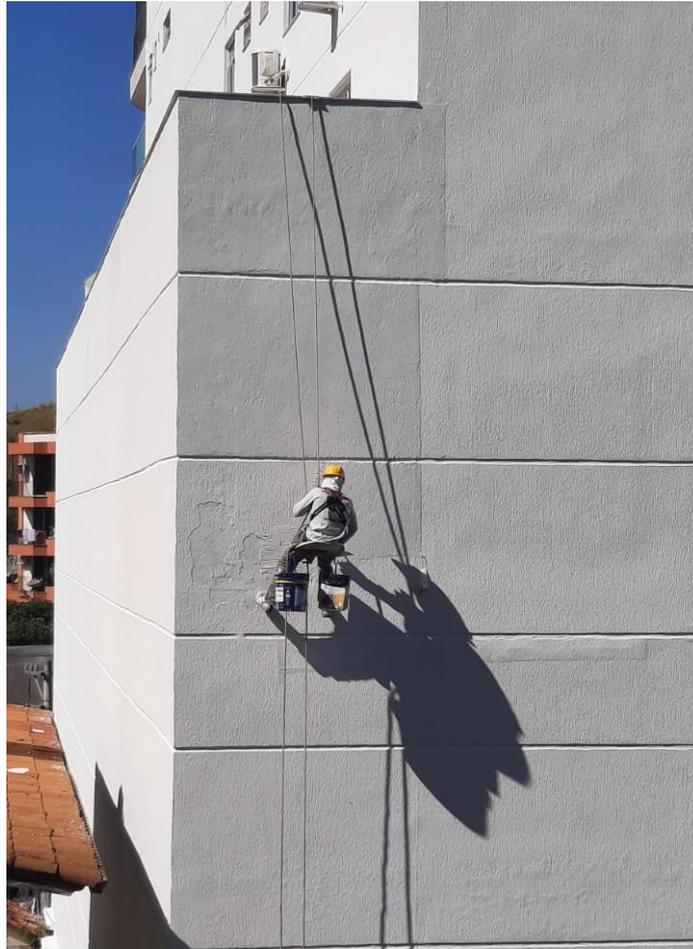
Figura 12: Remoção e Regularização da Superfície



Fonte: Cedida pela empresa, 2023.

Logo após deu-se início a quinta etapa que consistiu na recuperação do reboco e das fissuras, conforme mostra a Figura 13. Esse é um dos processos importantes que não apenas melhoram a estética, mas também protegem a integridade e o valor do edifício.

Figura 13: Recuperação do Reboco e Fissuras;



Fonte: Cedida pela empresa, 2023.

A sexta etapa constitui-se no emassamento com textura grafiato, conforme mostra a Figura 14. O emassamento com textura grafiato é uma técnica comum para proteger as superfícies internas e externas de edifícios, ela é altamente utilizada por sua durabilidade e capacidade de disfarçar pequenas imperfeições em paredes.

Figura 14: Emassamento com Textura Grafiato



Fonte: Cedida pela empresa, 2023.

Após todo processo de recuperação da fachada, deu-se início a sétima etapa que consistiu na aplicação do Primer, a fim de, melhorar a aderência e a qualidade da pintura, prolongar a vida útil da pintura e ocasionar um acabamento mais durável e atraente, conforme mostra a Figura 15.

Figura 15: Aplicação do Primer.



Fonte: Cedida pela empresa, 2023.

Na última etapa, consistiu na pintura externa de toda a fachada do edifício. A tinta utilizada foi especificamente na cor branca, desenvolvida para aplicações externas, com formulação específica para resistir tanto à exposição solar quanto à ação da chuva. Durante o processo de preparação, seguimos as diretrizes do fabricante, conforme demonstrado na Figura 16, diluindo a tinta para garantir um desempenho ideal e alcançar o resultado desejado na pintura externa.

Figura 16: Diluição da tinta.



Fonte: Cedida pela empresa, 2023.

Após a conclusão integral do plano de execução da obra desenvolvido pela empresa, a reforma da fachada foi finalizada, conforme evidenciado nas Figuras 17 e 18.

Figura 17: Fachada do edifício após a conclusão da obra.



Fonte: Cedida pela empresa, 2023.

Figura 18: Fachada do edifício após a conclusão da obra.



Fonte: Cedida pela empresa, 2023.

Segundo Assis (2022), a falta da manutenção predial adequada é responsável por diversas falhas, que provocam danos materiais.

A importância da manutenção preventiva reside no alcance da longevidade e durabilidade das edificações, redução de custos com correções, comprometimento de racionalização no uso dos recursos naturais e na preocupação com questões de impacto ambiental e urbano (GOMIDE; PUJADAS; FAGUNDES NETO, 2006).

Sendo assim, é preciso que haja um plano de manutenção para cada componente do prédio. Esse plano servirá de orientação para as atividades de manutenção e as rotinas de operação (ASSIS, 2022).

No ano de 2022, foi promulgada a ABNT NBR 17.170 intitulada "Normas de Garantia", cuja aplicação não abarca edificações já existentes ou em processo construtivo, conforme discriminado no estudo de caso. Ressalta-se que sua aplicação restringe-se a projetos protocolados para aprovação posterior a 11/6/2023, estabelecendo um período de 180 dias após a publicação da norma como marco temporal. No contexto de novos empreendimentos já levantados, além das normas de desempenho abordadas no presente estudo, a conformidade com a NBR 17.170 também será exigida.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao término deste estudo de caso, foi possível elaborar um levantamento minucioso abordando as manifestações patológicas que afetam as edificações, incluindo suas causas, origens e eventuais procedimentos de recuperação.

Ficou evidente que a falta de manutenção pode levar à manifestações patológicas, comprometendo não apenas a estética, mas também a segurança, o conforto e a durabilidade dos edifícios.

A comparação visual do antes e depois da reforma de fachada destacou os benefícios concretos alcançados pela execução que a manutenção pode trazer, como: a valorização do imóvel no mercado imobiliário, a garantia de segurança, conforto e a otimização do tempo de trabalho reforçam a importância da manutenção.

Desta maneira, é inegável que a manutenção adequada é essencial para preservar não apenas o valor patrimonial, mas também para garantir o desempenho eficaz das edificações ao longo do tempo.

Percebeu-se no desenvolvimento deste trabalho que as manifestações patológicas nas edificações residenciais estão cada vez mais presentes, causando riscos, desconforto, custos elevados de reparo e desvalorização do imóvel. A falta de manutenção pode ser atribuída a diversos fatores, como negligência dos proprietários, falta de conscientização sobre a importância da manutenção, custos percebidos como elevados e a ausência de regulamentações mais rigorosas.

Além disso, a manutenção é muitas vezes vista apenas como conservação patrimonial, sem compreender sua função crucial na prevenção de falhas de desempenho, que podem comprometer a segurança e a funcionalidade da edificação.

Vale mencionar as dificuldades encontradas na realização da reforma, que incluem a identificação precoce dessas manifestações, a necessidade de intervenções imediatas, a falta de conscientização dos moradores e proprietários sobre a importância da manutenção preventiva, além das limitações logísticas quando se trata de reformas em edifícios ocupados.

Portanto ficou evidente que a manutenção nas edificações proporciona vários benefícios, como: melhoria estética, a prevenção de infiltrações, o aumento da durabilidade dos revestimentos, a preservação da integridade estrutural e a adoção de práticas de manutenção bem planejadas que podem resultar em uma economia a longo prazo, evitando custos elevados de reparos emergenciais.

É fundamental salientar que promover a conscientização sobre a importância da manutenção, estabelecer regulamentações mais rigorosas e incentivar práticas preventivas contribuem não apenas para a preservação do patrimônio, mas também para a segurança e a qualidade de vida dos ocupantes das edificações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Ana Luísa N.; SARTOR, Ana Flávia S. **ESTUDO DE CASO SOBRE INSPEÇÃO E MANUTENÇÃO PREDIAL DE EMPREENDIMENTO RESIDENCIAL**. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Goiânia, 2020.

ALVES, W. **Principais conceitos de manutenção**. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABSoMAE/principais-conceitosmanutencao#>> Acesso em 19/05/2023.

ASSIS, Rita. C. T.; HIPPERT, M. A. S. **A gestão da manutenção predial e sua contribuição a vida útil das edificações: uma revisão**. Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade, v.10, n,1, p 22-29, jul.2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5674: **Manutenção das edificações - Procedimentos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14037: **Manual de Uso, Operação e Manutenção**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: **Edificações Habitacionais - Desempenho Parte 1: Requisitos Gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: **Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

BAMBIRRA, Filipe Starling. **ANÁLISE DE NORMAS TÉCNICAS E A ELABORAÇÃO DE PROGRAMA DE MANUTENÇÃO PREDIAL**. Dissertação (Especialização em Produção e Gestão do Ambiente Construído) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2019.

BATISTON, Kamilla Nayara; FERREIRA FILHO, Walter Gonçalves. **Patologia nas fundações de estruturas de concreto: gênese das fissuras nas estruturas**. RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218, v. 1, n. 1, p. e210940-e210940, 2021.

BORGES, Carlos Alberto de Moraes. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. 263 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2008.

BS 3811, **"Glossary of Maintenance Management Terms in Terotechnology."** (British Standards Institute, London, 1993).

CRUZ, A. F. R.; BARBOSA, M. T. G.; CASTANÕN, J. A. B. **Análise do processo de manutenção em diferentes sistemas construtivos no Brasil**. REUCP, Petrópolis, v.11, n.1, p.33-43, 2017.

DA SILVA, Amanda Fernandes Pereira et al. **Patologias em estruturas de concreto armado**: estudo de caso. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 1, p. 363-374, 2021.

GIORDANI, Andréia Zanatta; **Levantamento e Diagnóstico das Manifestações Patológicas em Fachadas de Edificações localizadas no Campus da UFSC**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2016.

GOMIDE, Tito L. F., PUJADAS, Flávia Z. A. NETO, Jerônimo C. P. F. **Técnicas de inspeção e manutenção predial**. PINI, São Paulo, 2006.

GOMIDE, Tito Lívio Ferreira; NETO, Jerônimo Cabral Pereira Fagundes; GULLO, Marco Antônio, **Inspeção Predial Total**. São Paulo: Pini, 2ª edição, 2014.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 6241: **Performance standards in buildings**: principles for their preparation. Londres, 1984. 12 p.

JOSÉ FILHO, Pe. M. **A família como espaço privilegiado para a construção da cidadania**. Franca: Unesp – FHDSS, 2002, (Dissertações e Teses, n.5).

KÖCHE, José Carlos. **Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e iniciação à pesquisa**. Petrópolis: Editora Vozes, 2011.

NAZARIO, D.; ZANCAN, E. C. (2011). **Manifestações das patologias construtivas nas edificações públicas da rede municipal e Criciúma**: Inspeção dos sete postos de saúde. Santa Catarina.

PAES, Mario Sérgio. **Manutenção Predial**. PINI São Paulo, 2018.

PEDRO, E. G.; MAIA, L. E. F. C.; ROCHA, M de O.; CHAVES, M. V. **Patologia em revestimento cerâmico de fachada**. Síntese de monografia, Pós-Graduação em Engenharias de Avaliações e Perícias do CECON, Faculdade de Engenharia e Arquitetura - FEA FUMEC, Belo Horizonte, Brasil, 2002. Disponível em: <<http://www.ibape-mg.com.br/monografia.htm>> Acesso em: 19 de maio de 2023.

POSSAN, Edna; DEMOLINER, Carlos Alberto. **Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações: abordagem geral**. Revista técnico-científica do CREA-PR, v. 1, n. 1, 14 p., out. 2013.

SANTOS, DANILO GONÇALVES. **Estudo da vida útil e degradação de fachadas em argamassa a partir da inspeção de edifícios**. [Distrito Federal] 2018. xix, 136p., 210 x 297mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Estruturas e Construção Civil, 2018). Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

SOUZA, Vicente Custodio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1998. 255 p. ISBN 8572660968.

SOUZA, Pamela Scari; SANTOS, Odair. **Patologias em Estruturas de Concreto Armado**. Boletim do Gerenciamento, v. 24, n. 24, p. 1-11, 2021.

TRIGUEIRO, Rodrigo de Menezes; RICIERI, Marilucia; FREGONEZE, Gisleine Bartolomei; BOTELHO, Joacy M. **Metodologia científica**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2014.

VIANNA, R. P.; ANTUNES, G. R. **Verificação das Condições de Manutenibilidade de Edifício Multipavimentado em Porto Alegre/RS**. Gestão e Gerenciamento, [S.l.], v. 13, n. 13, p. 36-43, set. 2020. ISSN 2447-1291.

VIEIRA, Flavia do Nascimento. **Proposta de elaboração de plano de manutenção para edificações a partir da obrigatoriedade legal da inspeção predial no contexto urbano das cidades**, Universidade Federal do Rio de Janeiro Escola Politécnica, Rio de Janeiro/RJ, 2015.

VILLANUEVA, M. M.. **A importância da manutenção preventiva para o bom desempenho da edificação**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001

**CAMILA DA SILVA ANTERO
GABRIELE BUENO BALBINO**

**TECNOLOGIAS PARA A CONSTRUÇÃO DE ELEMENTOS PRÉ-
MOLDADOS**

Trabalho de Conclusão de curso – TCC - do curso de Engenharia Civil da Faculdade Vértix – Univértix, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel.

Orientador: M.Sc. Lucas Machado Rocha

Linha de pesquisa: Tecnologia de Materiais e Métodos Construtivos

**TRÊS RIOS – RJ
2023**

RESUMO

Mostra-se notório que com a evolução da construção civil, houve uma busca por uma transição para métodos mais eficientes, como a utilização de elementos pré-moldados, por exemplo. Destaca-se a resistência inicial à adoção de novas tecnologias na indústria da construção, mas havendo um movimento gradual em direção a meios mais eficazes e sustentáveis. Estudos apontam as deficiências do modelo convencional, como baixa produtividade, desperdício de materiais e morosidade, enquanto outros, enfatizam a busca por modalidades construtivas alternativas, visando redução de erros e vantagens para os usuários. O avanço tecnológico e os processos construtivos pré-moldados são evidenciados como soluções para edificações mais eficientes, economicamente viáveis e de maior qualidade. Materiais demonstram que esses preceitos reduzem o tempo de construção, minimizam desperdícios e proporcionam um melhor controle de qualidade. A abordagem da sustentabilidade na construção, destaca certificações ambientais como ferramentas para reduzir os impactos no ecossistema e promover práticas construtivas mais sustentáveis. Além disso, discute-se a filosofia Lean Construction, concentrando-se na minimização de desperdícios, a padronização dos processos e a melhoria na gestão de recursos na construção. A análise visa quantificar vantagens e desvantagens entre métodos construtivos convencionais e pré-moldados, visando contribuir para decisões mais sustentáveis e eficientes na indústria da construção. É evidente a busca por maior eficiência, redução de custos e menor impacto ambiental na busca por construções mais sustentáveis e de qualidade.

Palavras-Chave: Casas pré-fabricadas, estruturas, construção, pré-moldadas, sustentabilidade.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer primeiramente a Deus, que foi pilar e peça fundamental para que conseguíssemos seguir firmes durante todo o percurso do desenvolvimento deste trabalho e mesmo em momentos em que duvidamos de nós mesmos, nos deu forças para prosseguir adiante.

A nossos pais, que foram fonte de inspiração para ingressarmos no ensino superior e são nossos grandes exemplos de base de desenvolvimento humano ético e civil.

A nosso orientador, que foi de total importância durante toda a execução, desde a fundamentação de ideias até a conclusão de todo o processo, sendo sempre pró-ativo e nos proporcionando uma maior facilidade nas concretizações dos parâmetros que foram elaborados ao longo do percurso de execução do TCC.

Agradecemos também nossos esposos, que foram incríveis parceiros e motivadores de nós duas desde o início e sempre demonstraram o quanto acreditavam em nossa capacidade e competência para a concretização dessa etapa tão primordial em nossas vidas.

E por fim, agradecemos a nós mesmos, por não termos desistido uma da outra durante todo o processo, acarretada por uma parceria de mais de 10 anos de companheirismo e amizade, o que tornou o desenvolvimento deste trabalho mais simples, leve e tranquilo.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	
1.1. OBJETIVOS	
1.1.1. Objetivo Geral	11
1.1.2. Objetivos Específicos	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1. Construção Sustentável e Certificações	11
2.2. Elementos pré moldados/fabricados - contexto histórico e exemplos	14
2.3. Lean Construction	15
3. METODOLOGIA	
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	
4.1. Obras com êxito na sustentabilidade - Selos sustentáveis	17
4.2. Obras convencionais x Pré fabricadas	18
4.3. Vantagens e desvantagens das construções sustentáveis e pré moldadas	19
4.4. Precificação das Construções Pré Moldadas:	21
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

1. INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, associado ao grande avanço do crescimento populacional, a busca constante por evolução tecnológica fez com que diferentes setores, incluindo o da construção, buscassem meios de se adequar às novas modalidades construtivas requeridas na atualidade.

Conforme El Debs (2000), a construção civil apresenta características de uma indústria atrasada quando comparada a outros setores industriais, por apresentar, de maneira geral, baixa produtividade, grande desperdício de materiais, morosidade e baixo controle de qualidade. Tais citações são justificadas pelas muitas resistências que aparecem para a inserção de novas tecnologias, mas lentamente elas vêm sendo superadas.

Conforme Alves (2016), a indústria da construção civil é constatada historicamente por ser utilizada em processos de produção com aspectos artesanais. Contudo, ao decorrer dos anos, esta vem inserindo cada vez mais procedimentos que otimizem o trabalho realizado, seja com novas técnicas de construção ou com produtos industrializados, fabricados em um ambiente com alto controle.

Sendo assim, a sociedade começou a buscar novas modalidades de construções alternativas que demandem uma mão-de-obra reduzida e que possam, de algum modo, trazer vantagens para aqueles que as adquirem (MARTINS *et al.*, 2021). Tem-se como exemplo um planejamento de edificações melhor disciplinado, com uma porcentagem reduzida de erros ou modificações, entre outros aspectos, o que contrasta significativamente com a situação encontrada nos meios convencionais de construção já conhecidos e utilizados (SILVA, 2019)

O avanço de novas tecnologias, novos processos construtivos e materiais de construção tem propiciado edificações cada vez mais esguias e economicamente viáveis. Entretanto, a escassez de mão de obra preparada, a alta concorrência do setor e a procura por maior lucratividade por meio da diminuição dos gastos de produção, têm afetado de forma negativa a qualidade das habitações construídas no Brasil nos últimos anos (DAL MOLIN *et al.*, 2016).

Conforme El Debs (2017), um dos métodos encontrados para diminuir estas questões é a aplicação de técnicas com associação a elementos pré-moldados de concreto.

Para uma parcela minoritária da população, atingir o desenvolvimento sustentável é conseguir adquirir o crescimento econômico ininterrupto através de um manuseio mais sensato dos provenientes naturais e da inserção de tecnologias mais eficazes e menos poluentes. Entretanto, para uma fração majoritária, o desenvolvimento sustentável é, apesar de tudo, um planejamento social e político realizado com o intuito de extinguir a pobreza, aumentar a qualidade de vida e saciar as necessidades básicas dos indivíduos (ALIGLERI *et al*, 2009).

Associado à expansão da construção civil, a parcela de obras realizadas em elementos pré-moldados tem crescido em razão de algumas particularidades importantes como: agilidade de concretização, manejo de qualidade, projetos de modulação e significativo nível organizacional de fabricação, ocasionando assim, construções cada vez maiores em estruturas pré-moldadas. (PEDERIVA, 2009)

Para Corrêa *et al.* (2016) as construções com elementos pré-moldados são um conjunto de alternativas adotadas para a execução de obras com o intuito de garantir economia financeira, utilização consciente dos recursos, evitando a poluição e garantindo maior conforto e qualidade de vida para os usuários da edificação.

Com a manufatura da Construção Civil, no Brasil e em todo o mundo, ocorreu um significativo avanço no quesito de evolução nos canteiros de obras devido a aplicação de peças de concreto pré-moldado, em decorrência de seu elevado controle na produção, materiais selecionados, excelentes fornecedores e mão-de-obra, preparada, fazendo assim com que as construções se tornem mais organizadas e seguras (SERRA; FERREIRA; PIGOZZO, 2005).

Como exemplo, Cruz e Cruz (2010) realizaram uma equivalência entre duas construções, sendo estas: construção A, edificação realizada em estrutura de concreto armado, moldada in loco, travada de blocos cerâmicos; construção B, edificação realizada em placa pré-moldada Portland. Em um período de três anos de execução dessas obras, analisaram os montantes de resíduos criados. No caso da construção B, a mesma apresentou um padrão no quesito de sustentabilidade bem superior a construção A, por levar em conta o método construtivo sem desperdícios na vedação, não possuindo necessidade de reboco em argamassa e um conceito antecipado e constatado para as instalações prediais.

Estudos recentes têm apontado que as construções pré-moldadas oferecem benefícios significativos em relação às construções convencionais. Um estudo comparativo realizado por Silva *et al.* (2021) destacou que as construções pré-

moldadas apresentam um tempo de construção reduzido, devido à fabricação prévia dos elementos estruturais em condições controladas de fábrica. Isso resulta em menor prazo de execução da obra, o que pode ser crucial em projetos com restrições de tempo.

Além disso, a construção pré-moldada tende a ter um melhor controle de qualidade, uma vez que os componentes são fabricados em ambiente controlado e submetidos a testes rigorosos antes da montagem final (LI *et al.*, 2019). Isso contribui para a redução de erros e retrabalhos, garantindo uma maior precisão dimensional e qualidade construtiva.

De acordo com a NBR 9062 (2017), a pré-moldagem é um processo de construção em que a obra, ou parte dela, é fabricada fora do local onde será utilizada definitivamente. Já a pré-fabricação está relacionada à produção em larga escala de peças pré-moldadas. O uso dessas estruturas tem como objetivo reduzir atrasos na construção civil, pois oferecem maior produtividade e minimizam o desperdício de materiais. Esse sistema possibilita a redução de custos em relação aos materiais utilizados nas estruturas, como concreto, aço, fôrmas e armações. Além disso, as peças pré-moldadas possuem um maior controle tecnológico, devido às exigências quanto à qualidade do produto.

Na fase estrutural de uma construção com painéis, todos os elementos estruturais, incluindo painéis pré-moldados e pré-lajes, são fabricados previamente e montados no local da obra. Nesse processo, a geração de resíduos de "classe A" (materiais que podem ser reaproveitados na própria obra) é mínima, uma vez que os elementos estruturais já estão prontos (YOUNG, 2008).

A construção convencional, apesar de ser uma abordagem comum e amplamente empregada na indústria da construção, enfrenta desafios significativos relacionados a prazos, custos e desperdício de materiais. Além disso, é importante destacar a falta de eficiência energética e os impactos ambientais decorrentes desse tipo de construção (SMITH, 2018).

As construções convencionais são construídas *in loco*, oferecendo maior flexibilidade, mas demandando mais tempo de execução e mão de obra (MEHTA, 2008). A escolha entre a utilização de um sistema construtivo de elementos pré-moldados ou elementos produzidos *in loco* depende do tipo de projeto, prazo, orçamento e requisitos específicos. Cada método possui suas vantagens e

desvantagens, e é importante considerar as necessidades do projeto antes de decidir qual abordagem adotar (BANDEIRA, 2013).

Para a questão de pesquisa do presente trabalho, atribui-se o desafio de quantificar os principais prós e contras da construção realizada em elementos pré - moldados quando comparado ao método construtivo convencional. Assim, pretende-se contribuir para que pesquisas, trabalhos e investimentos de caráter sustentável possuam cada vez mais informações que auxiliem na tomada de decisões em prol da sustentabilidade social, econômica e ambiental.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo ser uma pesquisa exploratória , onde sejam apontados os novos meios tecnológicos presentes na construção da atualidade, apresentando então a viabilidade dos elementos pré-moldados dentre estas opções.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Explicar as diferenças entre obras pré-moldadas/fabricadas e moldadas *in loco*;
- Evidenciar os impactos causados por obras não sustentáveis;
- Explorar as vantagens em se ter uma obra sustentável, mostrando técnicas e materiais para se atingir a sustentabilidade.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Construção Sustentável e Certificações

Obras sustentáveis englobam projetos de construção ou desenvolvimento urbano que são concebidos, planejados, construídos e operados de modo a minimizar o impacto ambiental, fomentar a utilização eficiente de recursos naturais e contribuir para o bem-estar social. Tais empreendimentos buscam harmonizar as exigências atuais com as futuras, levando em consideração aspectos econômicos, sociais e ambientais ao longo de todas as fases do ciclo de vida do projeto (Ives; Silva, 2019).

Em 1994, teve lugar a primeira edição da Conferência Internacional sobre Construção Sustentável, sediada em Tampa, Flórida. Durante o evento, Charles Kibert introduziu um conceito fundamental para a construção sustentável, no qual Kibert (2008) a definiu como a "criação e administração responsável de um ambiente construído saudável, levando em consideração os princípios ecológicos e a utilização eficiente de recursos". Nesse contexto, o solo, os materiais, a energia e a água são reconhecidos como os recursos mais preponderantes para a prática construtiva. Com base nessas premissas, Kibert estabeleceu uma série de princípios norteadores para a realização da construção sustentável:

- Minimizar a utilização de recursos naturais;
- Promover a máxima reutilização de recursos disponíveis;
- Encorajar a reciclagem de materiais ao término da vida útil da edificação e favorecer a utilização de recursos passíveis de reciclagem;
- Excluir substâncias prejudiciais ao longo de todas as etapas do ciclo de vida;
- Manter um equilíbrio na gestão dos recursos visando a preservação do meio ambiente e dos ecossistemas.

Os certificados de natureza ambiental representam ferramentas capazes de demonstrar o grau de dedicação da empresa na administração dos recursos hídricos, resíduos e energia, ao mesmo tempo em que impõem práticas construtivas sustentáveis que contribuem para o avanço do desenvolvimento sustentável. No contexto da indústria da construção, a certificação assume um papel significativo, exercendo uma influência relevante na promoção de comportamentos ecologicamente responsáveis no setor. Isso ocorre por meio do estabelecimento de critérios para os empreendimentos e da imposição de condições que propiciam a adoção de abordagens sustentáveis, além de estabelecer um procedimento para a gestão dos impactos oriundos da edificação (LOPES, 2013).

As certificações de natureza ambiental abrangem uma avaliação holística de todos os elementos relacionados ao meio ambiente, abarcando desde a seleção dos produtos a serem utilizados, até a gestão de água e energia, bem como a coleta de resíduos. Essas certificações examinam a presença de características como acústica adequada e ventilação eficaz, ao mesmo tempo que verificam a oferta de água e ar de alta qualidade nos espaços residenciais (FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI, 2007).

Conforme Santos, *et al.* (2021) relatam que existem diversos tipos de selos para construção sustentável, cada um com foco em diferentes aspectos ambientais e de eficiência. Esses selos desempenham um papel fundamental em orientar e certificar práticas construtivas mais responsáveis e ecologicamente conscientes. Entre os principais tipos de selos estão:

Tipos de certificações	Descrição
LEED (Liderança em Energia e Design Ambiental)	Desenvolvido pelo U.S. Green Building Council, o LEED é um dos selos mais reconhecidos globalmente. Ele avalia uma ampla gama de critérios, incluindo eficiência energética, uso de materiais sustentáveis, qualidade do ambiente interno e gestão de recursos.
BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) DGNB (Sistema Alemão de Avaliação de Sustentabilidade)	Originário do Reino Unido, o BREEAM também abrange diversos aspectos, como eficiência energética, uso responsável da água, impacto sobre a biodiversidade e saúde dos ocupantes. Este selo alemão leva em consideração não apenas os aspectos ambientais, mas também fatores sociais e econômicos na avaliação da sustentabilidade de um edifício.
HQE (High Quality Environmental Standard)	Desenvolvido na França, o HQE concentra-se na qualidade ambiental interna, eficiência energética e uso de materiais sustentáveis.
Green Star (Estrela Verde)	Utilizado na Austrália, esse selo avalia aspectos como emissões de gases de efeito estufa, consumo de água, uso de recursos naturais e impacto sobre a saúde dos ocupantes.
Living Building Challenge (Desafio de Edifícios Vivos)	Esse selo desafiador busca a excelência na construção sustentável, incentivando edifícios a serem autossuficientes em energia e água, além de promoverem ambientes saudáveis e belos.
CASBEE (Sistema de Avaliação de Edifícios e Ecossistemas de Cidade)	Originado no Japão, o CASBEE avalia edifícios e áreas urbanas quanto à eficiência energética, qualidade ambiental e conforto dos ocupantes.

Tabela 01 - Tipos de selos e suas descrições (Santos, *et al.* 2021).

2.2. Elementos pré moldados/fabricados - contexto histórico e exemplos

Na década de 1960, a industrialização e a pré-fabricação de estruturas chegaram ao Brasil, resultando na criação de um curso específico na Universidade

de Brasília (UNB), ministrado pelo professor João Filgueiras Lima, arquiteto de formação (Silva, 2008). Sob a liderança de Oscar Niemeyer, foram realizadas diversas construções que utilizam métodos industrializados, como a unidade empilhável de habitação para estudantes, conhecida como "Protótipo" (1962), os Pavilhões de Serviços Gerais (1962-64), o escritório do Centro de Planejamento/CEPLAN (1962-63), o Instituto Central de Ciências - ICC (1963-71), o Instituto de Teologia Católica (1963) e, posteriormente, o bloco principal do Quartel-General do Exército (1968-72) (FIGUEIREDO, 2012).

De acordo com Bruna Louzada (1976), a industrialização está essencialmente associada aos conceitos de organização e de produção em série, os quais devem ser entendidos, analisando de forma mais ampla as relações de produção envolvidas e a mecanização dos meios de produção.

Conforme citado por Bruna Louzada (1976), "A industrialização de componentes destinados ao mercado e não, exclusivamente, às necessidades de uma só empresa é conhecida como ciclo aberto". Segundo Ferreira (2003), o sistema pré-fabricado de "ciclo aberto" surgiu na Europa central com o intuito para uma pré-fabricação de componentes padronizados, os quais podem ser comparados com produtos de outros fabricantes.

Conforme Jones et al (2020) o quadro nacional apresenta-se excepcionalmente favorável ao desenvolvimento e solidificação desses sistemas no país, como é o caso da alternativa de financiamento de edificações construídas a partir de métodos industrializados.

Conforme Vasconcelos (2002), na república federativa do Brasil a 1ª grande obra que foi executada com o método de pré-fabricação foi confeccionada em 1926, e foi o hipódromo da Gávea, na cidade do Rio de Janeiro. Diante disso, a empresa responsável pela obra foi a construtora dinamarquesa Christiani-Nielsen, que efetuou variadas aplicações de componentes pré-fabricados no empreendimento, tendo como destaque as estacas das fundações e as cercas no contorno da área reservada ao hipódromo.

2.3. Lean Construction

Durante a década de 1990, surgiram diversas abordagens como modelos para direcionar a gestão da produção na construção civil. A *Lean Construction*

(Construção Enxuta) é uma delas, fundamentada no paradigma da *Lean Production* (Produção Enxuta), uma metodologia de organização da produção originada no Japão na metade dos anos 1950, que contrasta em vários aspectos com a Produção em Massa, baseada nas filosofias do Taylorismo/Fordismo (ISATTO *et al.*, 2000). Contudo, incorporar os princípios enxutos acarreta modificações nas estratégias de gestão de operações empregadas para aprimorar e supervisionar os processos produtivos. Uma das transformações mais significativas diz respeito ao conjunto de métricas de desempenho empregadas pelos líderes empresariais (CARDOZA; CARPINETTI, 2005).

A *Lean Production* foi originada no Japão durante a década de 1950, a partir de pesquisas conduzidas por dois engenheiros, Eiji Toyoda e Taiichi Ohno. Após visitarem a empresa Ford Motor nos Estados Unidos, onde o sistema de produção em massa estava sendo empregado, eles reconheceram que a replicação ou melhoria desse sistema não seria viável, devido às circunstâncias japonesas da época. Diante disso, surgiu a necessidade de conceber um novo sistema de produção capaz de eliminar o desperdício em suas linhas produtivas, abrangendo aspectos materiais, mão de obra e tempo. Essa necessidade impulsionou a criação de um sistema de gerenciamento da produção, que veio a ser conhecido como Sistema Toyota de Produção (TPS - Toyota Production System). Esse sistema foi desenvolvido ao longo de décadas por meio de experimentações e aprimoramentos constantes (FUJIMOTO, 1999).

Womack *et al.* (1990) definem essa abordagem de gestão da produção da seguinte maneira:

- Estrutura produtiva integrada, focalizada no fluxo de produção, adotando produção em lotes reduzidos baseada no conceito just-in-time e estoques minimizados;
- Promove a prevenção de defeitos em detrimento da correção;
- Adere à produção puxada ao invés da produção empurrada, baseada em previsões de demanda;
- Demonstra flexibilidade, organizando-se por meio de equipes de trabalho compostas por funcionários multifuncionais;
- Adota uma abordagem ativa na resolução das causas de problemas, visando a maximização do valor agregado ao produto final;

- Cultiva relações de parceria intensas, desde o primeiro fornecedor até o cliente final.

Inspirada na *Lean Production* (Produção Enxuta), a Lean Construction (Construção Enxuta) teve sua origem no início dos anos 1990, sendo marcada principalmente pela publicação do trabalho intitulado "*Application of the new production philosophy in the construction industry*" de Koskela (1992). Posteriormente, o *International Group for Lean Construction* (IGLC - Grupo Internacional para a Construção Enxuta) foi estabelecido, com o propósito de disseminar esses novos conceitos em âmbito global, disponível em (<http://cic.vtt.fi/lean>). No contexto brasileiro, o Lean Institute Brasil foi fundado em 1998 (www.lean.org.br).

Em termos gerais, a Lean Construction pode ser identificada através das seguintes atividades (KOSKELA, 1992):

- Potencializar o valor do produto, considerando as demandas dos clientes. O processo gerador de valor implica na identificação precisa das necessidades de clientes internos e externos, sendo essas informações consideradas tanto no projeto do produto quanto na administração da produção;
- Minimizar a variabilidade. Diversos tipos de variabilidade estão presentes, como a da matéria-prima (dimensões, características, etc.), do próprio processo (tempo de execução, etc.) e da demanda (exigências dos clientes, etc.). Cada uma dessas variações têm diferentes graus de intervenção;
- Diminuir o tempo de ciclo. Esse tempo consiste na soma de todas as etapas (transporte, espera, processamento e inspeção) necessárias para concluir um produto. Identificar momentos improdutivos e eliminá-los resultará na compressão desse tempo total;
- Simplificar através da redução de passos ou componentes. Isso está relacionado a sistemas construtivos otimizados, nos quais a perspectiva é reduzir elementos ou, principalmente, padronizá-los;
- Ampliar a flexibilidade de saída. A habilidade de alterar as características finais dos produtos de acordo com as necessidades dos clientes está associada ao conceito do processo como gerador de valor;
- Aumentar a transparência do processo. A transparência revela eventuais distorções no processo, tornando sua correção mais fácil e incentivando o envolvimento da mão-de-obra.

3. METODOLOGIA

No processo de coleta de dados serão acopladas as informações e especificações de produtos, materiais e técnicas utilizados. Além disso, serão quantificados os custos, a usabilidade, a aderência a práticas sustentáveis, a vida útil e o tempo de execução ou instalação. Esses dados serão essenciais para garantir a eficiência, a sustentabilidade e a durabilidade dos projetos de construção, sendo essas informações coletadas através de artigos, livros bem como revistas. A coleta de dados será realizada por meio de pesquisa em domínios e sítios eletrônicos relevantes. Uma das plataformas utilizadas será o Google Acadêmico, que disponibiliza uma ampla variedade de artigos científicos e pesquisas acadêmicas. Além disso, a plataforma Scielo também será explorada fornecendo acesso a uma extensa base de dados de periódicos científicos de qualidade. Nesse contexto de pesquisa escolhido, será descartado a utilização de pessoas bem como aplicação de questionários para obtenção de informações, por se tratar de uma abordagem de trabalho qualitativa bem como quantitativa com base em materiais disponíveis virtualmente já explorados anteriormente por terceiros.

A pesquisa abordará diferentes sujeitos relacionados à construção, especificamente a construção convencional, a construção pré-moldada, a sustentabilidade e o custo. Cada um desses tópicos desempenha um papel fundamental na indústria da construção e possui características distintas, apresentando um tempo de busca de dois meses sem a utilização de entrevistas com terceiros.

As coletas de dados serão realizadas através de dados públicos. Isso se deve ao fato de que as fontes de pesquisa utilizadas para coletar informações e especificações sobre os diferentes sujeitos abordados estão disponibilizadas na internet ou em bibliotecas acessíveis ao público.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Obras com êxito na sustentabilidade - Selos sustentáveis

O aumento contínuo da degradação ambiental levou a indústria a tomar medidas diretas para reduzir os impactos ambientais resultantes. Como resultado, as

organizações têm buscado adotar sistemas de avaliação ambiental, como certificações e selos, a fim de melhorar seus desempenhos (LU; ZHU; CUI, 2012).

As certificações operam por meio de adesão, seguindo o mesmo modelo dos sistemas de avaliação de sustentabilidade. Em resumo, todos os sistemas de certificação consistem em critérios de avaliação organizados em categorias. As construções recebem o certificado ambiental quando alcançam o desempenho mínimo de acordo com os critérios predefinidos (RÓMERO; REIS, 2012). Abaixo, estão alguns exemplos de projetos que alcançaram com sucesso certificações sustentáveis:

1. One Bryant Park (Bank of America Tower) - Nova Iorque, EUA
Certificação: LEED Platinum
2. The Edge - Amsterdã, Holanda
Certificação: BREEAM Outstanding
3. Masdar City - Abu Dhabi, Emirados Árabes Unidos
Certificação: Está buscando se tornar a primeira cidade com zero emissões de carbono
4. Vancouver Convention Centre West - Vancouver, Canadá
Certificação: LEED Platinum
5. The Crystal - Londres, Reino Unido
Certificação: BREEAM Outstanding
6. Treasure Hill Symbiotic Urban Habitat- Taipei, Taiwan
Certificação: LEED Platinum (projeto)
7. Khoo Teck Puat Hospital - Singapura
Certificação: Green Mark Platinum

4.2. Obras convencionais x Pré fabricadas

Segundo a pesquisa conduzida por Jimmie W. Hinze no livro "Construction Planning and Scheduling" (2011), a velocidade de execução em projetos de construção pré-fabricada tende a ser consideravelmente superior àquela observada em projetos de construção convencionais. Essa discrepância decorre da natureza altamente repetitiva e controlada do processo de pré-fabricação, que possibilita a fabricação eficiente de componentes de construção em ambiente de fábrica, seguida pela sua montagem no local. Isso contrasta com os projetos de construção convencionais, que geralmente envolvem processos mais manuais e sujeitos a

variabilidades, resultando em prazos de construção mais extensos.

Conforme Hinze (2011) a adoção da filosofia Lean Construction, ou construção enxuta, em um local de construção que utiliza elementos pré-fabricados apresenta diversas vantagens e facilidades em comparação com os métodos de construção tradicionais. Conforme evidenciado por pesquisas na área, essas vantagens compreendem:

1.Redução de Desperdício: A Lean Construction visa a eliminação de desperdícios em todas as fases do processo de construção. Em locais de obras que utilizam elementos pré-fabricados, a produção dos componentes é rigorosamente controlada em instalações fabris, resultando em uma significativa redução do desperdício de materiais e recursos, promovendo assim uma construção mais eficaz e sustentável (Hinze, 2011).

2. Padronização: A pré-fabricação de elementos como painéis de parede, lajes e colunas possibilita a padronização do processo. Essa padronização simplifica o planejamento e a realização da obra, uma vez que os elementos pré-fabricados são fabricados de forma consistente e podem ser montados de maneira previsível no canteiro de obras (Hinze, 2011).

3. Gestão de Estoque Simplificada: A produção sob encomenda e o armazenamento de elementos pré-fabricados simplificam a administração de estoques no local da construção, minimizando os riscos de escassez ou excesso de materiais, resultando em economia de tempo e recursos (Hinze, 2011).

4. Aceleração da Construção: A montagem de elementos pré-fabricados no local geralmente é mais ágil do que a construção tradicional, resultando em uma considerável aceleração do cronograma da obra e em uma entrega mais rápida do projeto (Hinze, 2011).

5. Maior Controle de Qualidade: A produção de elementos pré-fabricados em ambientes de fábrica proporciona um ambiente mais controlado para assegurar a qualidade dos componentes, diminuindo a probabilidade de erros e defeitos durante o processo de construção (Hinze, 2011).

6.Redução de Mão de Obra no Canteiro: A montagem de elementos pré-fabricados demanda menos trabalho manual intensivo, o que pode resultar em uma menor necessidade de mão de obra em comparação com projetos de construção tradicionais. Isso gera economias nos custos trabalhistas e melhora a segurança no local de trabalho (Hinze, 2011).

7. Melhor Gestão de Fluxo de Trabalho: A Lean Construction destaca a importância do fluxo de trabalho contínuo e da minimização de gargalos. Em locais de construção que utilizam elementos pré-fabricados, o planejamento e controle do fluxo de trabalho podem ser mais eficazes, resultando em um andamento mais fluido do projeto (Hinze, 2011).

8. Redução de Tempo de Paralisação: A redução de interrupções e atrasos desempenha um papel crucial na filosofia Lean Construction. A instalação de elementos pré-fabricados pode ocorrer de forma mais ágil e eficaz, diminuindo o tempo de paralisação no canteiro de obras e mantendo um progresso constante (Hinze, 2011).

4.3. Vantagens e desvantagens das construções sustentáveis e pré moldadas

Imagem do empreendimento	Construções sustentáveis e pré moldadas/pré fabricadas	Vantagens	Desvantagens
	One Angel Square, Manchester, Reino Unido	Sustentabilidade Avançada; Gestão de energia eficiente; Reutilização de Água da Chuva; Design Bioclimático; Localização Sustentável.	Custos Iniciais Elevados; Manutenção Complexa; Limitações de Replicação; Restrições no Uso de Espaço.
	Metsä Pavilion, Tóquio, Japão	Sustentabilidade; Reutilização; Temporário e Móvel; Integração com a Natureza.	Limitações Espaciais; Custos de Montagem e Desmontagem; Manutenção e Durabilidade.
	Arquipélago, Centro de Artes Contemporâneas, Açores, Portugal	Integração com o Ambiente Natural; Uso de Materiais Locais; Eficiência Energética	Custos Iniciais Potencialmente Elevados; Manutenção Específica; Limitações de Espaço; Restrições de Aprovação Regulatória

Quadro 02 – Características de algumas construções sustentáveis e pré-moldadas/pré-fabricadas (Os autores).

4.4. Precificação das Construções Pré Moldadas:

De acordo com diversos estudos na área da construção civil, as construções pré-moldadas frequentemente oferecem uma economia significativa em termos de tempo e custo quando comparadas às construções convencionais. Um estudo do "National Precast Concrete Association" dos Estados Unidos, por exemplo, apontou que as estruturas pré-moldadas podem reduzir os prazos de construção em até 50% em comparação com métodos construtivos convencionais (National Precast Concrete Association, 2013).

Com enfoque no quesito de precificação, buscando uma comparação entre o método construtivo convencional e o método construtivo através de pré moldados, abaixo será apresentado uma tabela com valores baseados na Sinapi (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) onde será possível visualizar a diferença financeira entre os métodos construtivos. Para isso, foi necessário a composição de itens:

Laje convencional:

- Montagem e desmontagem de fôrma (4 utilizações) (Código 103761)
- Construção de Forma (Código 92267);
- Armadura (Código 92767)
- Concretagem com bomba (Código 103675)

Laje pré-moldada

- Laje pré-moldada (Código 101964)
- Concretagem com bomba (Código 103674)

Bem como levando em consideração duas análises:

Análise 01: Considerando-se consumo de 44kg de aço por m³ de concreto(Jablonski, 2013) e laje de 8 cm, tem-se 3,08 kg de aço por m² de laje. Logo, a composição de armação será:

Laje moldada in loco:

CATEGORIA	CÓD.	DESC. DO ITEM	UND.	VALOR
FUNDAÇÕES E ESTRUTURAS	92767 (adaptado)	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-60 DE 4,2 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	M ²	R\$ 63,88

Quadro 03 –Composição de valores Sinapi (Os autores).

Análise 2: considerando uma laje de 8cm de espessura, tem-se o seguinte consumo de concreto para o item 103675:

CATEGORIA	CÓD.	DESC. DO ITEM	UND.	VALOR
CONCRETOS	103675 (adaptado)	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES MACIÇAS OU NERVURADAS COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022_PS	M ²	R\$ 46,60

Quadro 04 –Composição de valores Sinapi (Os autores).

Com isso, adicionamos um último item para compor nossa precificação de laje:

CATEGORIA	CÓD.	DESC. DO ITEM	UND.	VALOR
FORMAS/CIMBRAMENTOS/ESCORAMENTOS	103761	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE MACIÇA, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA RESINADA E CIMBRAMENTO DE MADEIRA, 4 UTILIZAÇÕES. AF_03/2022	M ²	R\$ 98,84

Quadro 05 –Composição de valores Sinapi (Os autores).

Logo, o valor por m² de laje convencional em loco se precifica em **R\$: 209,33**

Para lajes pré moldadas, temos:

CATEGORIA	CÓD.	DESC. DO ITEM	UND.	VALOR
FUNDAÇÕES E ESTRUTURAS	101964	LAJE PRÉ-MOLDADA UNIDIRECIONAL, BIAPOIADA, PARA FORRO, ENCHIMENTO EM CERÂMICA, VIGOTA CONVENCIONAL, ALTURA TOTAL DA LAJE (ENCHIMENTO+CAPA) = (8+3). AF_11/2020_PA	M ²	R\$ 197,13

Quadro 06 –Composição de valores Sinapi (Os autores).

Logo, o valor por m² de laje moldada em logo se precifica em **R\$: 197,13**. Com isso temos uma diferença de valor da laje convencional para a laje pré fabricada de aproximadamente R\$12,20, o que, pensado em grande escala, resultaria em um significativo quantitativo de valor. Entretanto, não se deve somente considerar o quesito custo, além do mais, quando se trata de pré moldados outras pautas podem e devem ser levantadas bem como qualidade, durabilidade, eficiência na construção, estética, design, sustentabilidade, segurança, dentre outros.

O item de laje foi escolhido para ser comparado e apresentado, justamente por se tratar de algo que era completamente viável de ser composto baseado na tabela sinapi, tendo em vista que quando se tentava quantificar e compor outros tipos de itens, não se encontrava disposto na mesma todos os materiais e recursos necessários.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com embasamento em todos os tópicos e conteúdos que foram explorados neste trabalho, podemos visualizar as inúmeras vantagens e benefícios que são apresentados pelas construções através de pré moldados, desde quesitos como mão de obra, vida útil, durabilidade, sustentabilidade, precificação, organização e otimização de tempo. Entretanto, mesmo que, quando comparado à construção convencional, os pré moldados tenham um ressalte maior, a grande parte das indústrias do ramo da construção civil, não possuem um arsenal de maquinários específico e apropriado para o desenvolvimento dessas peças, bem como também

não há uma alta procura do público por esse meio construtivo, se levado em consideração que as construções, mesmo que de grande porte , na grande maioria das vezes, não são executadas em grande escala e com padronizações arquitetônicas o que faz com que a diferença do meio construtivo para o convencional em quesitos financeiros se torne quase que irrelevante e acaba-se então optando pelo convencional.

Com isso, concluímos que apesar de ser visualmente perceptível as vantagens da utilização dos pré-moldados no mundo da construção civil, o desenvolvimento em pequena escala das obras com mesmo padrão de execução no país bem como o alto custo inicial para a implementação deste método construtivo, faz com que o mesmo ainda tenha uma menor procura e a construção convencional continue se sobressaindo no final.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT NBR 9062:2017. Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2017.
- ALIGLERI, L.; ALIGRERI, L. A.; KRUGLIANSKAS, I. Gestão Socioambiental: responsabilidade e sustentabilidade do negócio. São Paulo: Atlas, 2009.
- ALVES, C., & SILVA, J. Sustainable Building Design: Concepts and Practices. Springer, 2019.
- ALVES, M. Industrialização na construção civil: Análise da possibilidade de adoção de ações de um programa de desenvolvimento tecnológico europeu na construção civil brasileira, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, 2016, 60p.
- BANDEIRA, Gisele Mara Hadlich et al. Análise comparativa de sistemas construtivos: construção convencional versus construção em alvenaria estrutural. Ambiente Construído, v. 13, n. 2, p. 125-142, 2013.
- BEEDLE, L. S. Vancouver Convention Centre West: A Case Study in Sustainable Architecture and Urban Design. CTBUH Journal, 20-25, 2010.
- BROTAS, L., NICOL, F., & JONES, B. Design, building physics and inhabited architecture. Building and Environment, 46(1), 109-123, 2011.
- BRUNA, P. Arquitetura, industrialização e desenvolvimento. São Paulo: EDUSP/Perspectiva, 1976. Coleção Debates, número 135.
- CARDOZA E.; CARPINETTI, L.C.R. Indicadores de desempenho para o sistema de produção enxuto. Revista Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
- COOK, C. The Bank of America Tower at One Bryant Park: An Environmentally Advanced and Financially Astute Addition to the Manhattan Skyline. CTBUH Journal, 20-25, 2011.
- CORREA, Antônio Henrique de Freitas; FRANÇA, Poliana Miranda; FRANÇA, Tamiris Miranda. Construção Sustentável: Benefícios e Desafios. Faculdades Kennedy. Belo Horizonte: 2016. Disponível em: http://revistapensar.com.br/engenharia/pasta_upload/artigos/a149.pdf.
- CRUZ, I.S.; CRUZ, I.S. Geração de resíduos sólidos da construção civil em canteiros de obras convencionais e painel. 2010, 7p.
- DAL MOLIN, D.; MASUERO, A.; ANDRADE, J.; POSSAN, E.; MASUERO, J.; MENNUCCI, M. Contribuição à previsão da vida útil de estruturas de concreto. In: KAZMIERCZAK, C.; FABRÍCIO, M. Avaliação de desempenho de tecnologias construtivas inovadoras: Materiais e Sustentabilidade. Porto Alegre: Scienza, 2016. p. 223-270.

EL DEBS, Mounir Khalil. Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações. . São Carlos: EESC-USP. . Acesso em: 17 jun. 2023. , 2000

EL DEBS, Mounir Khalil. Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações. São Paulo, SP: Oficina de Textos.

FERREIRA, M.A. (2003).A importância dos sistemas flexibilizados, 2003. 8p.(Apostila)

FUJIMOTO, T. The evolution of a manufacturing system at Toyota. New York: Orford University Press. 1999

FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI – FCAV. Referencial Técnico de Certificação Edifícios do Setor de Serviços– Démarche HQE. [S.l.: s.n.], 2007.

GUALLART, V., & RAMOS, J. Designing the Future: A Postcapitalist Toolkit for Urban Design. Actar Publishers, 2019.

HENSEN, J. L., & Trčka, M. Designing Buildings for Positive Environmental Effects: Integrated Design and Assessment of Sustainable Buildings. Routledge, 2016.

HINZE, J.W. Construction Planning and Scheduling. 4.ed. Pearson,2011.

ISATTO, E. L.; FORMOSO, C. T.; DE CESARE, C. M.; HIROTA, E. H.; ALVES, T.C.L. Lean construction: diretrizes e ferramentas para o controle de perdas na construção civil. Porto Alegre, SEBRAE/RS, Série SEBRAE Construção Civil, Vol. 5. 2000

JONES, M., Brown, R., & Johnson, P. (2020). Financing Options for Buildings Constructed with Industrialized Methods. Construction Economics Quarterly, 27(3), 89-105.

KIBERT, C.- Sustainable Construction - Green building design and delivery. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc, 2008.

KOSKELA, L. Application of the new production philosophy to construction. Stanford, CA: EUA, Center for Integrated Facility Engineering - CIFE, Stanford University (Technical Report No 72). 1992.

LOPES, A. A. Construção Sustentável: Medidas Construtivas Sustentáveis que Buscam Aumentar a Eficiência no Uso dos Recursos e Minimizar os Impactos ao Meio Ambiente. 2013. 124p.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

LU, Y.; ZHU, X.; CUI, Q. Effectiveness and equity implications of carbon poli-cies in the United States construction industry. Building and Environment, v. 49, p. 259-269, 2012.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J.M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. 3ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2008.

National Precast Concrete Association. "Precast Saves Time and Money." Disponível em: <https://precast.org/2013/05/time-money-and-precast/>. Acesso em 10 de novembro de 2023.

PAVILHÃO Metsä / Helin & Co Arquitetos. 2021. Disponível em: <https://www.archdaily.com/969035/metsa-pavilion-helin-and-co-architects>. Acesso em: 11 set. 2023.

PEDERIVA, P.F. Comparação de Custos Envolvidos na Construção de Pavilhões com Estruturas Pré-Moldadas e Moldadas in loco. Monografia. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí. 2009.

RANGEL, Juliana (ed.). O edifício de escritórios mais sustentável do mundo. 2015. Disponível em: <https://sustentarqui.com.br/edificio-de-escritorios-mais-sustentavel-mundo/>. Acesso em: 10 set. 2023.

RÓMERO, A. M.; REIS, B. L. Eficiência energética em edifícios. 1 ed. Barueri – São Paulo: Manole, 2012. 208 p.

SANTOS, D. C., et al. (2021). An overview of green building certifications: LEED, BREEAM, DGNB, and HQE. Sustainability, 13, 7579.

SERRA, S. M. B.; FERREIRA, M. A.; PIGOZZO, B. N. Evolução dos Pré-fabricados de Concreto.

SMITH, John. Construction Methods and Management. 2nd edition. New York: McGraw-Hill Education, 2018.

SMITH, A. . The Role of Architects in Decision-Making. Journal of Architecture and Design, 15(2), 45-58, 2018.

VOSS, K., & MUSALL, E. . From Technology-Push to Market-Pull: Strategic Approaches for Accelerating Innovation for Sustainability. In Transitions to Sustainable Development (pp. 141-160). Routledge. 2015.

WILLIAMS, J. The Crystal, London: A new Icon of Sustainable Design. CTBUH Journal, 28-33, 2012.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D. A máquina que mudou o mundo. Tradução de Ivo Korytovski. Rio de Janeiro: Campus, 1990.

YOUNG, Jack R. Construction technology for tall buildings. John Wiley & Sons, 2008.

ELZIANE DE CÁSSIA AMARAL REYNALDO FRANCISCO

**ANÁLISE DOS IMPACTOS E BENEFÍCIOS DAS CERTIFICAÇÕES AMBIENTAIS
NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso – TCC –
apresentado ao curso de Graduação: Engenharia
Civil da Faculdade Vértice – Univértix, como
requisito parcial à obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. M.Sc. Lucas Machado Rocha

Linha de Pesquisa: Sustentabilidade; Técnicas
Construtivas; Canteiros de obra.

**TRÊS RIOS / RJ
2023**

AGRADECIMENTO

Gostaria de expressar minha gratidão a todas as pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho.

Primeiramente, agradeço a Deus pela força, sabedoria e inspiração que Ele me concedeu ao longo desta jornada acadêmica. Sua graça foi minha fonte de conforto nos momentos desafiadores e minha guia nas decisões importantes.

Aos respeitadores professores Lucas, Rita, Vitor, Leonardo e Francine meu profundo agradecimento. Suas orientações, conselhos e dedicação foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Cada aula, cada feedback e cada palavra de incentivo foram elementos essenciais para meu crescimento acadêmico e pessoal.

RESUMO

O presente estudo aborda a temática da análise dos impactos e benefícios das certificações ambientais na indústria da construção civil. A indústria da construção civil desempenha um papel significativo no contexto ambiental, dado seu consumo de recursos naturais e geração de resíduos. Nesse contexto, as certificações ambientais surgiram como uma estratégia para mitigar os impactos negativos dessa indústria no meio ambiente e promover práticas mais sustentáveis. O estudo tem como objetivo principal avaliar de maneira abrangente os efeitos das certificações ambientais na indústria da construção civil. A metodologia adotada envolveu a revisão bibliográfica para embasar teoricamente os conceitos de sustentabilidade na construção civil e o funcionamento das certificações ambientais. Os resultados obtidos demonstraram que a adoção de certificações ambientais na construção civil oferece uma série de benefícios. Isso inclui a redução do consumo de recursos naturais, diminuição da geração de resíduos, melhoria na eficiência energética dos edifícios, promoção de ambientes internos saudáveis e aumento da conscientização dos profissionais e clientes sobre práticas sustentáveis. No entanto, também foram identificados desafios e limitações, como o custo inicial mais elevado para a obtenção da certificação, possíveis dificuldades na adaptação de projetos às diretrizes das certificadoras e a necessidade de uma mudança cultural nas empresas do setor. Conclui-se que as certificações ambientais desempenham um papel fundamental na promoção da sustentabilidade na indústria da construção civil, no entanto, para maximizar os resultados, é necessário um comprometimento contínuo por parte das empresas, aliado a políticas governamentais de incentivo e conscientização.

PALAVRAS-CHAVE: certificações ambientais; construção civil; sustentabilidade.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	01
1.1 OBJETIVO.....	02
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	03
2.1 SUSTENTABILIDADE.....	03
2.2 CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS.....	04
2.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NAS EDIFICAÇÕES	05
2.3 GESTÃO DO CANTEIRO DE OBRAS DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL	06
2.5 SISTEMAS DE CERTIFICAÇÕES AMBIENTAIS.....	09
3. METODOLOGIA.....	11
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
4.1 LEED (LEADERSHIP IN ENERGY AND ENVIRONMENTAL DESIGN).....	12
4.2 AQUA-HQE (ALTA QUALIDADE AMBIENTAL)	14
4.3 PROCEL EDIFICA	17
4.4 CASA AZUL	20
4.5 ANÁLISE COMPARATIVA.....	24
5. CONCLUSÃO.....	26
6. REFERÊNCIAS.....	27

1. INTRODUÇÃO

A função da construção civil é a transformação do ambiente natural no ambiente construído, adaptado para o desenvolvimento das atividades humanas. São poucas as atividades humanas que não precisam de um ambiente adequado construído e, portanto, todas as construções viárias, hidráulicas ou elétricas são frutos da construção civil (JOHN, 2000).

A indústria da construção civil ocupa posição de destaque na economia do Brasil, porém apresenta-se como grande geradora de impactos ambientais que resultam na formação de áreas degradadas. Estas áreas acabam causando situações de risco com algumas consequências relevantes, como o aumento da vulnerabilidade dos lençóis freáticos e rios ou córregos próximos, danos a edificações e ruas ou estradas vizinhas, perda da qualidade do ar por meio de ruídos ou poluição, insalubridades decorrentes da deposição de resíduos e danos à população das proximidades (ROTH; GARCIAS, 2009, p. 111).

O conceito de construção sustentável está se tornando cada vez mais importante. Por causa disso, proteger o meio ambiente, construir estruturas energeticamente eficientes e reduzir a poluição são questões essenciais que devem ser tratadas adequadamente (CUNHA; AUGUSTIN, 2014).

A construção sustentável é a prática de construir casas, estruturas comerciais e públicas para minimizar o uso de recursos não renováveis, reduzir o desperdício e a poluição e melhorar a saúde e a segurança dos ocupantes. Os métodos de construção sustentável também buscam minimizar os impactos negativos na saúde humana e no meio ambiente ao longo de cada estágio do ciclo de vida do edifício. Há uma ampla gama de métodos de construção sustentável a serem considerados em qualquer projeto de construção (CONCEIÇÃO; SANTOS, 2021).

Araújo (2020) ressalta que tem havido muitos avanços na construção verde nos últimos anos. O uso de métodos de construção sustentáveis para casas e outras estruturas pode reduzir significativamente o impacto na natureza. Gritti e Landini (2010) afirmam que os métodos de construção ecológica não prejudicam o planeta ou seus ocupantes. Em vez disso, eles visam reduzir as emissões de carbono e a poluição enquanto produzem edifícios que usam materiais de construção sustentáveis que podem ser facilmente reutilizados ou reciclados quando não forem mais necessários.

As certificações ambientais desempenham um papel fundamental na promoção de construções sustentáveis por meio de diversos mecanismos e incentivos. Elas fornecem um sistema estruturado e com reconhecimento internacionalmente para promover a construção sustentável, impulsionando a indústria na direção de práticas mais responsáveis e amigáveis ao meio ambiente (BISSOLI-DALVI, 2014).

As certificações ambientais são selos concedidos a produtos, serviços, práticas ou organizações que atendem a critérios específicos de sustentabilidade e responsabilidade ambiental. Esses critérios são definidos por organizações certificadoras, entidades governamentais ou organismos internacionais e estão voltados para minimizar o impacto ambiental, promover a eficiência dos recursos naturais e incentivar práticas mais responsáveis (HENKES, 2014).

Conforme Dardengo (2017), as certificações ambientais têm o objetivo de identificar e reconhecer produtos e serviços que cumpram padrões elevados de desempenho ambiental. Essas certificações geralmente envolvem critérios relacionados a fatores como eficiência energética, uso responsável de recursos naturais, minimização de resíduos, qualidade do ar e da água, redução de emissões de gases de efeito estufa, preservação da biodiversidade e saúde pública.

1.1 OBJETIVO

A necessidade de avaliar os impactos e benefícios das certificações ambientais na indústria da construção civil é de grande relevância devido às diversas implicações que essas certificações podem ter no setor. Nesse sentido, têm-se como questão problema: Quais são os principais impactos e benefícios das certificações ambientais na indústria da construção civil, considerando aspectos como eficiência energética, uso responsável de recursos e qualidade ambiental interna.

Tendo em vista a importância desse tema, o presente trabalho tem como objetivo analisar de forma abrangente como as certificações ambientais influenciam a sustentabilidade e os resultados na indústria da construção civil. O estudo visa contribuir para a compreensão dos efeitos das certificações no setor, identificar os impactos e benefícios obtidos pelas construções certificadas.

No que diz respeito aos objetivos específicos, eles consistem em: Identificar os conceitos de sustentabilidade e construções sustentáveis; Investigar as principais certificações ambientais utilizadas na indústria da construção civil no Brasil e compreender os critérios específicos que elas abrangem; Analisar as práticas de construção sustentável adotadas por edifícios certificados em relação a aspectos como eficiência energética, uso de materiais sustentáveis e redução de resíduos; Propor recomendações para aprimorar a eficácia das certificações ambientais na indústria da construção civil, com base nas conclusões do estudo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 SUSTENTABILIDADE

A definição de sustentabilidade destaca a necessidade de criar um mundo habitável para as gerações futuras. Ao moldar esse futuro, a sustentabilidade é geralmente entendida em um contexto ambiental. A sustentabilidade ambiental inclui garantir que o consumo humano não esgote os recursos naturais, que os sistemas ecológicos permaneçam em equilíbrio e que a vida na Terra permaneça diversificada (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

No entanto, a sustentabilidade também está ligada a questões econômicas e sociais. Segundo Moretto e Giacchini (2005, p. 3), “o conceito de desenvolvimento sustentável apresenta-se de forma ampla, envolvendo a questão produtiva, a questão social e a questão ambiental”. A sustentabilidade econômica inclui garantir que as comunidades possam manter a independência, acessar os recursos de que precisam e garantir fontes de subsistência, enquanto a sustentabilidade social inclui a proteção dos direitos e necessidades humanas universais.

No mundo de hoje, a sustentabilidade está cada vez mais incorporada às campanhas e estratégias de negócios. Para uma empresa, sustentabilidade significa operar sem impactar negativamente o ambiente externo, a comunidade ou a sociedade. Uma estratégia de negócios sustentável é aquela que tenta criar um impacto positivo em um ou vários desses grupos (MIRANDA *et al.*, 2019).

Conforme Fonseca (2020), na prática, uma estratégia empresarial sustentável pode assumir diversas formas e é única para cada organização. As empresas podem fazer a transição para o uso de materiais sustentáveis em suas embalagens,

otimizar suas cadeias de suprimentos para reduzir as emissões ambientais e até mesmo patrocinar programas para beneficiar a comunidade local.

A sustentabilidade é fundamental para manter a qualidade de vida, a diversidade da vida na Terra e a saúde dos ecossistemas ricos em recursos da Terra. As práticas ambientais sustentáveis melhoram a qualidade da água e do ar, reduzem os aterros sanitários e aumentam as fontes de energia renováveis a longo prazo. Essas mudanças garantem condições de vida mais limpas e saudáveis para todas as pessoas, especialmente aquelas em comunidades de baixa renda (CUNHA; AUGUSTIN, 2014).

Além disso, a sustentabilidade é importante porque garante um planeta habitável para as gerações futuras. Como os recursos naturais são finitos, eles devem ser usados de forma conservadora no curto prazo. Caso contrário, poderão causar danos irreparáveis à atmosfera da Terra. Ao praticar a sustentabilidade agora, cria-se um mundo mais seguro e habitável para as gerações futuras (COSTA, 2019).

2.2 CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS

A indústria da construção, por sua natureza, é uma das maiores usuárias de recursos naturais. Com a crescente preocupação com os recursos naturais finitos e as mudanças climáticas, há uma pressão crescente na indústria da construção por parte do governo e de alguns setores privados para minimizar seu impacto ambiental (JOHN, 2017).

Embora existam alguns desafios envolvidos na adoção de métodos de construção sustentáveis, também há muitos benefícios na adoção desses métodos. A construção sustentável significa usar materiais recicláveis e renováveis em projetos de construção e minimizar o consumo de energia e a produção de resíduos. O principal objetivo do método de construção sustentável é reduzir seu impacto no meio ambiente (BORTOLUZZI, 2017).

A construção sustentável não termina após a conclusão do projeto de construção. O projeto do próprio edifício deve ter um impacto mínimo no meio ambiente durante a vida útil da estrutura. Isso significa que o projeto do edifício deve incorporar elementos e materiais que tenham uma influência contínua no impacto

ambiental da estrutura. Isso pode incluir escotilhas energeticamente eficientes no telhado, painéis solares, isolamento adequado para evitar perda de calor e minimização do consumo de energia da rede que vem principalmente de combustíveis fósseis e materiais de construção de longa vida útil (FURUKAWA; CARVALHO, 2011).

A indústria da construção é uma das maiores usuárias de recursos globais e contribuintes de poluição. Tem, portanto, uma grande responsabilidade em contribuir para a sustentabilidade. Assim, desde a emissão até o consumo de energia, a indústria da construção contribui com um impacto significativo no meio ambiente (JOHN, 2017).

Miranda *et al.*(2019) ressalta que a indústria da construção deve ajudar a construir um mundo que melhore a vida das gerações futuras e use métodos ecologicamente corretos. Trabalhar de forma sustentável envolve atender às demandas da população em expansão, bem como apoiar o meio ambiente a longo prazo.

2.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NAS EDIFICAÇÕES

Eficiência energética é a utilização de menos energia para fornecer o mesmo serviço. Aumentar a eficiência energética não só permite que indivíduos e organizações reduzam seus custos de capital e operacionais, mas também pode ajudar a diminuir o consumo de combustível e, assim, reduzir a emissão de gases de efeito estufa e ajudar a prevenir as mudanças climáticas (MARTINS *et al.*, 2018).

Segundo Deveza (2016), há inúmeros benefícios pelos quais a eficiência energética pode ser melhorada:

- Desenvolvimento de produtos e processos mais eficientes;
- Levar em consideração todo o ciclo de vida dos produtos e processos, incluindo o descarte;
- Desenvolver controles e sistemas para aumentar a eficiência além daquela disponível em tecnologias individuais;
- Auditar o uso de energia e fornecer recomendações sobre tecnologias e práticas mais eficientes;

- Melhorar a operação e manutenção de transportes, edifícios e equipamentos industriais;
- Adaptação ou substituição de tecnologias energeticamente ineficientes;
- Educar as pessoas para serem mais eficientes energeticamente;
- Desenvolver política para incentivar a adoção de tecnologias eficientes;
- O ambiente construído.

Pode ser difícil tornar edifícios antigos energeticamente eficientes, mas é muito mais fácil projetar novos edifícios que o sejam. Um edifício energeticamente eficiente proporciona a máxima eficiência e conforto, com o menor consumo de energia e recursos possíveis (MENKES, 2004).

Segundo Borges (2023), os recursos de eficiência energética não devem estar presentes apenas no estágio de operação, pois as medidas para promover a eficiência energética devem abranger também todo o ciclo de vida de um edifício - desde o projeto pré-construção até o processo de construção, operação e demolição.

Mantendo o edifício totalmente funcional e a eficiência energética, esses edifícios oferecem inúmeros benefícios aos usuários e ao meio ambiente. Em um edifício energeticamente eficiente, o consumo de energia é baseado em uma combinação otimizada de todas as fontes de energia disponíveis para o edifício (BORGES, 2023).

2.3 GESTÃO DO CANTEIRO DE OBRAS DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL

Em escala global, a indústria da construção é uma das mais danosas ao meio ambiente, com grandes projetos de mineração e construção que representam impactos negativos significativos no meio ambiente. Isso pode acontecer em diferentes situações, desde os processos usados nos materiais de mineração até na terraplenagem de novos loteamentos, intensificando-se a perturbação da flora e fauna circundantes e os resíduos produzidos e descartados (ROTH; GARCIAS, 2009).

À medida que a indústria continua a se expandir e crescer, é necessário encontrar maneiras de minimizar esses impactos por meio de tecnologias

inovadoras e práticas de segurança. Isso é para garantir que se tenha uma indústria de construção sustentável, que é escalável de acordo com a população crescente (SILVA JUNIOR; FRETAS, 2022).

De acordo com Oliveira Neto e Magalhães (2019) existem muitas maneiras pelas quais a indústria da construção pode ter um impacto negativo no meio ambiente. Identificar os problemas associados a aos projetos ajudará a minimizar os riscos, como:

- Poluição da construção: esta é uma consideração importante na construção, em particular na poluição do ar, da água e do ruído;
- Uso de energia: os setores de construção combinados são responsáveis por mais de um terço do consumo global de energia e quase 40% do total de emissões diretas e indiretas de CO₂;
- Remoção de habitats nativos: o desmatamento para projetos de construção leva à remoção de habitats nativos para muitas espécies de flora e fauna.
- Lençóis freáticos: os projetos de construção podem afetar o ambiente das águas subterrâneas durante a construção e a longo prazo.

Ao identificar alguns dos impactos potenciais, pode-se gerenciar os projetos para minimizar os impactos ambientais de longo prazo. Para minimizar os riscos ambientais da construção existem estratégias de pequena e grande escala para reduzir os impactos ambientais da construção, tais como (SANTANA, 2016):

- Aumentar a eficiência energética das ferramentas utilizadas: a mudança climática colocou a eficiência energética no centro das atenções, no bom sentido. Inovações em eficiências de ferramentas significam que agora pode selecionar ferramentas de baixo consumo de energia. Pode-se também rastrear o uso de energia de ferramentas e máquinas individuais em um canteiro de obras para identificar áreas problemáticas;
- Usar materiais sustentáveis: o uso de materiais sustentáveis pode não apenas limitar os impactos ambientais, mas também economizar o dinheiro no projeto. Isso pode estar no preço real dos materiais, mas também na economia de energia que eles proporcionam.

Alguns exemplos incluem (SANTANA, 2014):

- Materiais reciclados: tais como madeira e metal;
- Cimento: feito de plástico reciclado;
- Isolamento térmico verde: para reduzir a dependência de ar condicionado e aquecimento;
- Fardos de palha: usados para substituir alternativas de gesso e concreto;
- Bambu: uma alternativa leve e renovável para muitos produtos de madeira.

Um dos efeitos colaterais da construção mais prejudiciais ao meio ambiente é a produção de resíduos, especificamente os resíduos de construção e demolição (RCD), que contribuem para o aumento dos resíduos de aterros. Ter uma estratégia de gerenciamento de resíduos para minimizar isso é uma maneira importante de reduzir os impactos ambientais da construção (JOHN, 2017).

Para Oliveira (2015), apesar de muitos projetos de construção serem rotulados como projetos “verdes”, os impactos da construção no meio ambiente devem sempre ser levados em consideração durante toda a vida útil do projeto de construção.

Souza (2023) afirma que durante a fase de construção de um projeto, a gestão de resíduos é vista como o principal impacto ambiental. No entanto, existem muitas outras preocupações ambientais durante a construção que devem ser consideradas e abordadas. Cada etapa de qualquer projeto de construção tem um impacto mensurável no meio ambiente: o uso de matérias-primas, o transporte de materiais da fonte até o canteiro de obras, a pegada ambiental do canteiro de obras, o uso de água, bem como a remoção e descarte de resíduos.

Contudo, conforme Santos (2015), a consideração dos impactos ambientais e a redução dos efeitos ambientais dos projetos de construção requerem a colaboração de uma vasta gama de partes interessadas. A legislação deve garantir que o meio ambiente não seja prejudicado indevidamente durante a fase de aprovação de um projeto de construção, e as construtoras devem tomar a iniciativa de pesquisar as técnicas de construção mais sustentáveis. Os empreiteiros devem ser responsabilizados pela elaboração de planos de gerenciamento de resíduos e

água, garantindo que suas máquinas estejam atualizadas e fornecendo materiais sustentáveis para uso no local. A nova tecnologia também pode ser usada para gerenciar e rastrear a conformidade regulatória ambiental, descarte de resíduos e outros dados ambientais, de saúde e segurança essenciais.

Existem inúmeras maneiras de diminuir o impacto ambiental negativo no projeto de construção. Ao utilizar tecnologia verde e reutilizável, mantendo a duração do projeto no mínimo, limitando o uso de combustível, entre outras fará a diferença no impacto do meio ambiente (HENKES, 2014).

2.4 SISTEMAS DE CERTIFICAÇÕES AMBIENTAIS

As construções sustentáveis não são apenas uma tendência de mercado. Hoje elas representam uma necessidade diante do quadro ambiental vivido mundialmente. Por isso, obras com certificações de sustentabilidade na construção civil são cada vez mais valorizadas. Afinal, elas otimizam o uso de recursos como a água e a energia elétrica sem perder em conforto e tecnologia (LANTAR, 2020).

As certificações de sustentabilidade na construção civil procuram comprovar que a construção utiliza técnicas e tecnologias visando a preservação de recursos ambientais. Desse modo, cada um desses selos possui um objetivo, uma sistemática, um tipo de validação e um público alvo (LANTAR, 2020).

De acordo com Patrício (2005), devido à necessidade de se estabelecer padrões para os edifícios verdes, surgiram as metodologias de avaliação do desempenho ambiental das edificações, que funcionam como certificações. Elas avaliam as edificações através de critérios pré-estabelecidos, atribuindo uma classificação final ao empreendimento. Essas certificações são muito importantes porque auxiliam engenheiros e projetistas a elaborarem edifícios sob parâmetros ambientalmente sustentáveis.

Os sistemas mais comuns existentes hoje no mercado brasileiro são (MENDES, 2014, p.21-23):

- LEED (Leadership in Energy and Environmental Design): é um sistema internacional de certificação e orientação ambiental para edificações, utilizado em 143 países, e possui o intuito de incentivar a transformação dos projetos, obra e operação das edificações, sempre com foco na sustentabilidade de suas atuações. A Certificação internacional LEED possui 7 dimensões a serem avaliadas nas edificações. Todas elas

possuem pré-requisitos (práticas obrigatórias) e créditos, recomendações que quando atendidas garantem pontos a edificação. O nível da certificação é definido, conforme a quantidade de pontos adquiridos, podendo variar de 40 pontos, nível certificado a 110 pontos, nível platina.

- AQUA-HQE: é uma certificação internacional da construção sustentável desenvolvido a partir da certificação francesa Démarche HQE (Haute Qualité Environmentale) e aplicado no Brasil. É realizado a avaliação da qualidade ambiental do edifício em pelo menos três fases (construção nova e reformas): Pré-projeto, Projeto e Execução. Esta avaliação da Qualidade Ambiental do Edifício é feita para cada uma das 14 categorias de preocupação ambiental e as classifica nos níveis base, boas práticas e melhores práticas, conforme perfil ambiental definido pelo empreendedor na fase pré-projeto. Para que o empreendimento seja certificado AQUA, o empreendedor deve alcançar no mínimo um perfil de desempenho com 3 categorias no nível melhores práticas, 4 categorias no nível boas práticas e 7 categorias no nível base.

- PROCEL: o selo Procel Edifica é um selo ambiental que visa diminuir a utilização de energia elétrica e melhorar o uso de recursos alternativos para propiciar um ambiente saudável e funcional através da exploração de sistemas naturais como solução. Ele pode ser concedido em dois momentos: na fase de projeto e após a construção do edifício. Um projeto pode ser avaliado pelo método prescritivo ou pelo método da simulação, enquanto o edifício construído deve ser avaliado através de inspeção in loco. Nos edifícios comerciais, de serviços e públicos são avaliados três sistemas: envoltória, iluminação e condicionamento de ar. Dessa forma, a etiqueta pode ser concedida de forma parcial, desde que sempre contemple a avaliação da envoltória. Nos edifícios residenciais são avaliados: a envoltória e o sistema de aquecimento de água, além dos sistemas presentes nas áreas comuns dos edifícios multifamiliares, como iluminação, elevadores, bombas centrífugas etc.

- CASA AZUL: O Selo Casa Azul da Caixa Econômica Federal é uma classificação socioambiental dos projetos habitacionais financiados pela CEF, com a missão de reconhecer projetos de empreendimentos que adotem soluções eficientes na construção, uso, ocupação e manutenção dos edifícios, incentivando o uso racional de recursos naturais e a melhoria da qualidade da habitação e de seu entorno. Institui 53 critérios de avaliação divididos em seis categorias: qualidade urbana, projeto e conforto, eficiência energética, conservação de recursos materiais, gestão da água, e práticas sociais. Para receber o Selo nível bronze, é necessário preencher os 19 requisitos obrigatórios. Para o nível prata, é preciso atender aos itens obrigatórios mais 6 opcionais e, para o nível ouro, os 19 obrigatórios mais 12 opcionais.

O ramo da construção civil demorou a observar os impactos causados por suas intervenções em todo mundo, trazendo consequências negativas para todos, e, sendo o setor de construção civil fundamental ao crescimento e economia dos países, principalmente aqueles em desenvolvimento como o Brasil, é imprescindível que a sua prática esteja revestida de medidas que garantam o pleno desenvolvimento econômico socio-ambiental (SILVA JUNIOR; FRETAS, 2022).

O mercado tem acolhido vários tipos de certificações ambientais, pois se multiplicam em números relevantes. A Norma Técnica ABNT NBR ISO 14020 afirma

que “a rotulagem ambiental – declaração ambiental – é a afirmação que indica os aspectos ambientais de um produto ou serviço” (SCHWABE, 2011).

A certificação ambiental é o meio pelo qual as empresas constituem um método sucessivo de gerenciamento de seus impactos ambientais, podendo chegar a melhores resultados em suas políticas de desenvolvimento ambiental. Trata-se de uma ferramenta muito valiosa para a consolidação da corresponsabilidade envolvendo as companhias e os órgãos de controle ambiental. Empresas de vários ramos estão cada vez mais interessadas em demonstrar uma postura ambiental politicamente correta, tendo o controle de suas atividades, produtos ou serviços no meio ambiente, e de certa forma, imprimindo sua política e seus objetivos ambientais (SCHWABE, 2011).

3. METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como exploratório quanto ao objetivo. Os estudos exploratórios procuram desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, o que muitas vezes serve como ponto de partida para planejamento de pesquisa descritiva ou explicativa (ARAÚJO; OLIVEIRA, 1997).

Quanto ao delineamento, a pesquisa se configura como um estudo bibliográfico com a investigação de trabalhos publicados sobre o tema e a pesquisa documental, que são as análises dos documentos pertinentes às certificações ambientais. A pesquisa documental é muito parecida com a pesquisa bibliográfica, porém tem objetivos mais específicos. Baseia-se na análise do conteúdo de diversos formatos de documento ou de um determinado tipo específico com o objetivo de desenvolver respostas quantitativas ou qualitativas acerca de um fenômeno específico (GIL, 2009).

Já a pesquisa bibliográfica compreende a identificação, localização, compilação e fichamento das informações e ideias mais importantes de um texto. A atividade básica na pesquisa bibliográfica é a investigação em material teórico sobre o assunto de interesse. Ela precede o reconhecimento do problema ou do questionamento que funcionará como delimitador do tema de estudo (ALYRIO, 2009).

Quanto à natureza, o estudo se classifica como qualitativo, pois é procedida uma análise sobre o conteúdo escrito em artigos, monografias, dissertações ou

trabalhos de conclusão de curso disponíveis no Google Acadêmico e pesquisas genéricas no Google, principalmente nos sites das empresas certificadoras para a análise e o comparativo das certificações ambientais no que diz respeito as vantagens e desvantagens para a indústria da construção civil.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Brasil, várias edificações têm buscado a aplicação de certificações ambientais para demonstrar seu compromisso com a sustentabilidade. Cada projeto pode abordar diferentes aspectos ambientais de acordo com sua finalidade e contexto, contribuindo para práticas mais conscientes na indústria da construção civil.

Como exposto nesse estudo, certificações ambientais como LEED, AQUA, PROCEL Edifica e Casa Azul buscam promover a sustentabilidade em edifícios de diferentes formas. Por isso, na sequência apresenta-se alguns exemplos de edifícios certificados por cada uma dessas normas, bem como algumas de suas vantagens e desvantagens.

4.1 LEED (*LEADERSHIP IN ENERGY AND ENVIRONMENTAL DESIGN*)

A certificação ambiental LEED, sigla para "*Leadership in Energy and Environmental Design*", é um sistema de certificação desenvolvido pelo *U.S. Green Building Council* (Conselho de Construção Sustentável dos Estados Unidos). O LEED é um dos sistemas mais conhecidos e amplamente utilizados internacionalmente para avaliar a sustentabilidade de edifícios e empreendimentos (GBC, 2023).

O LEED avalia edifícios em diversas categorias, como eficiência energética, uso de água, materiais e recursos, qualidade ambiental interna e inovação. Cada categoria é subdividida em critérios específicos, e os edifícios acumulam pontos com base na conformidade com esses critérios. As pontuações totais determinam o nível de certificação (CTE, 2022):

- **Certified (Certificado):** 40-49 pontos.
- **Silver (Prata):** 50-59 pontos.

- **Gold (Ouro):** 60-79 pontos.
- **Platinum (Platina):** 80 pontos ou mais.

No Brasil e em todo o mundo, muitos edifícios e empreendimentos têm adotado a certificação LEED como uma forma de demonstrar seu compromisso com a sustentabilidade e promover práticas mais responsáveis na indústria da construção civil (GBC, 2023).

O Quadro 01 apresenta as vantagens e desvantagens da Certificação LEED:

Quadro 01: Vantagens e desvantagens Certificação LEED

Vantagens da Certificação LEED	
Reconhecimento	O LEED é amplamente reconhecido e respeitado como um padrão de excelência em construção sustentável.
Eficiência Energética	Incentiva projetos a adotarem sistemas eficientes de energia, resultando em redução de custos operacionais.
Saúde e Conforto	Foca na qualidade do ambiente interno, promovendo o bem-estar dos ocupantes.
Sustentabilidade	Estimula práticas sustentáveis na escolha de materiais, no uso da água e na gestão de resíduos.
Valorização Imobiliária	Edifícios certificados tendem a ter maior valor no mercado imobiliário.
Desvantagens da Certificação LEED	
Custos Iniciais	A obtenção da certificação pode exigir investimentos iniciais maiores para incorporar tecnologias sustentáveis.
Complexidade	Requer a colaboração de uma equipe multidisciplinar e a coleta de muita documentação.
Manutenção	Para manter os benefícios ao longo do tempo, os edifícios certificados LEED precisam de operação e manutenção especializadas.

Fonte: adaptado de Souza; Barbosa, 2022.

Edifícios no Brasil receberam a certificação LEED, demonstrando seu compromisso com a sustentabilidade, conforme exemplos a seguir:

- ✓ **Edifício Eco Berrini, São Paulo**- Certificação: LEED Platinum.
 - Uso de energia solar para geração de eletricidade.
 - Sistemas eficientes de resfriamento e iluminação.
 - Revestimento termoacústico e jardim vertical para conforto térmico.

- ✓ **Sede do Banco Itaú Unibanco, São Paulo**- Certificação: LEED Platinum.
 - Uso de sistemas de ar condicionado eficientes e iluminação LED.
 - Gestão sustentável de água, com reuso de água cinza e pluvial.
 - Design otimizado para aproveitar a luz natural.

- ✓ **Residencial Santa Mônica Jardins, Rio de Janeiro**-Certificação: LEED Gold.
 - Eficiência energética por meio de iluminação LED e sistemas de ar condicionado eficientes.
 - Uso de materiais regionais e certificados.
 - Tecnologias para economia de água, como torneiras com sensor.

- ✓ **Edifício Sede da Natura, Cajamar**-Certificação: LEED Platinum.
 - Estrutura projetada para aproveitar iluminação natural.
 - Eficiência energética por meio de tecnologias inovadoras.
 - Uso de materiais de baixo impacto ambiental.

Por fim, cada exemplo destaca como os edifícios LEED no Brasil incorporam abordagens sustentáveis em aspectos como eficiência energética, gestão de recursos e conforto dos ocupantes. As desvantagens muitas vezes podem estar relacionadas a custos iniciais, desafios de adaptação e manutenção especializada.

4.2AQUA-HQE (ALTA QUALIDADE AMBIENTAL)

A certificação AQUA-HQE, sigla para "Alta Qualidade Ambiental - *HautéQualitéEnvironnementale*", é um sistema de certificação ambiental desenvolvido pelo Cerway, uma subsidiária do CSTB (*Centre Scientifique et TechniqueduBâtiment*), na França. Assim como o LEED, o AQUA-HQE visa avaliar e promover a sustentabilidade em edifícios e empreendimentos. O AQUA-HQE é projetado para se adaptar ao contexto francês e europeu, levando em consideração os aspectos climáticos, culturais e regulatórios da região (VANZOLINI, 2023).

O diferencial da certificação AQUA-HQE é que, mesmo tendo se originado de referenciais técnicos estrangeiros, suas documentações foram adaptadas em 2007 pela Fundação Vanzolini em parceria com a Escola Politécnica da USP, considerando a cultura, o clima, as normas técnicas e as regulamentações brasileiras. Além disso, desde 2014, o HQE possui referenciais técnicos de nível internacional que levam em conta a experiência brasileira (VANZOLINI, 2023).

Todos os referenciais de certificação passaram por um alinhamento de parâmetros para permitir a comparação dos valores avaliados, porém os níveis de exigência respeitarão sempre as especificidades e diferenças de cada país.

A Fundação Vanzolini, ao celebrar um acordo de cooperação com o Cerway, passa a ser a representante no Brasil da rede de certificação HQE e o Processo AQUA transforma-se em AQUA-HQE, uma certificação com identidade e reconhecimento internacional (VANZOLINI, 2023).

Desde seu lançamento em 2008, o Processo AQUA-HQE propõe um novo olhar para a sustentabilidade nas construções brasileiras. Seus referenciais técnicos foram desenvolvidos considerando a cultura, o clima, as normas técnicas e a regulamentação presentes no Brasil, mas buscando sempre uma melhoria contínua de seus desempenhos. A certificação AQUA-HQE abrange uma variedade de categorias para avaliar o desempenho sustentável de um empreendimento. Essas categorias incluem (VANZOLINI, 2023):

- **Energia:** Avalia a eficiência energética, uso de fontes renováveis e redução das emissões de gases de efeito estufa;
- **Água:** Considera a gestão eficiente da água, incluindo o uso responsável e o tratamento adequado de águas residuais;

- **Conforto:** Aborda aspectos de conforto térmico, acústico e visual, visando a qualidade de vida dos ocupantes;
- **Saúde:** Avalia a qualidade do ar interno e outros fatores que afetam a saúde dos ocupantes;
- **Materiais:** Analisa a escolha de materiais de baixo impacto ambiental, como produtos reciclados ou de origem certificada;
- **Gestão:** Considera práticas de gestão sustentável, como planejamento e monitoramento do desempenho ambiental;
- **Resíduos:** Avalia a gestão de resíduos durante a construção e operação do empreendimento.

Assim, a certificação AQUA-HQE utiliza um sistema de pontuação, atribuindo pontos a cada critério atendido. A pontuação total determina o nível de certificação.

O Quadro 02 apresenta as vantagens e desvantagens da Certificação AQUA-HQE.

Quadro 02: Vantagens e desvantagens Certificação AQUA-HQE

Vantagens da Certificação AQUA-HQE	
Adaptação Local	Foi desenvolvida especificamente para o contexto brasileiro, considerando regulamentações e desafios locais.
Abordagem Holística	Avalia diversos aspectos da sustentabilidade, indo além de questões ambientais e incluindo bem-estar humano.
Reconhecimento Nacional	É uma das certificações mais reconhecidas e amplamente utilizadas no Brasil.
Desvantagens da Certificação AQUA-HQE	
Complexidade	Assim como outras certificações, requer esforço documental e coordenação de equipe.
Foco Nacional	Pode ter menos reconhecimento internacional em comparação com certificações mais globais.

Fonte: adaptado de Souza; Barbosa, 2022.

No mundo, já são mais de 230 mil projetos certificados AQUA-HQE, entre eles, 356 distribuídos em 15 estados brasileiros, isso equivale a mais de 14 milhões de m² construídos certificados em todo o Brasil (VANZOLINI, 2023).

A certificação AQUA-HQE é uma opção valiosa para promover práticas sustentáveis na construção civil brasileira, enfatizando a adaptação às condições locais e a consideração do bem-estar humano. Na sequência consta os exemplos de edificações que receberam a certificação AQUA no Brasil:

✓ **Residencial Inova - Porto Alegre**

- O Residencial Inova é um empreendimento residencial que obteve a certificação AQUA na categoria Habitação de Interesse Social.
- Ele prioriza a eficiência energética, a gestão de resíduos e a qualidade ambiental interna para proporcionar um ambiente saudável aos moradores.

✓ **Centro Sebrae de Sustentabilidade – Cuiabá**

- Este é um exemplo de edifício institucional que conquistou a certificação AQUA na categoria de Edifícios Públicos.
- O Centro Sebrae de Sustentabilidade foi projetado com ênfase na sustentabilidade ambiental, incluindo sistemas de captação de água da chuva e estratégias de eficiência energética.

✓ **Condomínio Jardins, Botucatu**

- Este empreendimento habitacional recebeu a certificação AQUA na categoria Habitação Coletiva, demonstrando um compromisso com a sustentabilidade em um contexto de condomínio residencial.
- Incorporando práticas sustentáveis em seu projeto e operação.

✓ **Hospital do Câncer de Barretos - Unidade Jales**

- Esta unidade hospitalar obteve a certificação AQUA na categoria Saúde, destacando-se pela sua abordagem sustentável na prestação de serviços de saúde.
- Isso inclui a gestão eficiente de recursos, qualidade do ar interno e acessibilidade.

Esses exemplos representam apenas uma pequena amostra dos edifícios no Brasil que buscaram e obtiveram a certificação AQUA. Essa certificação demonstra

um compromisso com a sustentabilidade e a responsabilidade ambiental, promovendo práticas construtivas mais conscientes em relação ao meio ambiente. O número de edifícios certificados AQUA tem aumentado ao longo dos anos, à medida que a consciência ambiental cresce na indústria da construção no Brasil.

4.3 PROCEL EDIFICA

Criado em 2003 pelo Procel (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), o Procel Edifica (Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações) é um programa destinado à eficiência energética das edificações e ao conforto ambiental. Seu objetivo é reduzir em 50% o consumo em novas edificações e 30% nas que fizerem reformas levando em conta os conceitos de eficiência energética (TRISUL, 2019).

O programa atua em seis vertentes: capacitação, tecnologia, disseminação, regulamentação, habitação, eficiência energética e planejamento. Entre suas metas está o investimento em capacitação tecnológica e profissional, estímulo à pesquisa e desenvolvimento de soluções adaptadas à realidade brasileira (TRISUL, 2019).

O Quadro 03 apresenta as vantagens e desvantagens da Certificação PROCEL Edifica.

Quadro 03: Vantagens e desvantagens Certificação PROCEL Edifica

Vantagens da Certificação PROCEL Edifica	
Economia de Energia	O principal benefício do PROCEL Edifica é a economia de energia elétrica em edifícios. Isso resulta em redução de custos operacionais para os proprietários e inquilinos, tornando os edifícios mais eficientes do ponto de vista energético.
Sustentabilidade	O programa contribui para a construção de edifícios mais sustentáveis, reduzindo a pegada de carbono e o impacto ambiental associado ao consumo de energia elétrica.
Conforto Interior	A eficiência energética muitas vezes está ligada a melhorias no conforto interior dos edifícios, como uma temperatura mais estável e sistemas de iluminação adequados.
Certificação	A obtenção do selo PROCEL Edifica é um reconhecimento

	público do compromisso de um edifício com a eficiência energética, o que pode ser um diferencial competitivo no mercado imobiliário.
Incentivo à Inovação	O programa promove a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias e práticas inovadoras na construção civil, impulsionando a indústria a adotar soluções mais eficientes em termos energéticos.
Desvantagens da Certificação PROCEL Edifica	
Custo Inicial	Implementar medidas de eficiência energética em edifícios, como isolamento térmico, sistemas de iluminação avançados ou sistemas de AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) eficientes, pode exigir um investimento inicial significativo.
Conhecimento técnico	Proprietários e construtores podem enfrentar desafios para entender e aplicar as diretrizes do PROCEL Edifica sem conhecimento técnico adequado.
Prazos de Retorno do Investimento	Os benefícios financeiros da eficiência energética geralmente se acumulam ao longo do tempo, e os proprietários podem precisar de prazos de retorno do investimento mais longos para justificar os custos iniciais.
Regulamentações em Evolução	As regulamentações e critérios de certificação podem evoluir ao longo do tempo, exigindo atualizações e adaptações nos edifícios já certificados.
Resistência à Mudança	Pode haver resistência à mudança por parte de proprietários, construtores e inquilinos que estão acostumados com métodos de construção e operação tradicionais.

Fonte: Adaptado de CUNHA; SILVA, 2010.

O PROCEL Edifica desempenha um papel importante na promoção da eficiência energética no setor de construção civil no Brasil, trazendo benefícios econômicos e ambientais significativos. No entanto, as desvantagens estão relacionadas principalmente a desafios financeiros e de implementação que podem ser superados com o tempo e o conhecimento adequado (LUZ; MARTINS, 2017).

O Selo Procel Edificações tem como objetivo identificar as edificações que apresentem as melhores classificações de eficiência energética em uma dada categoria, a fim de motivar o mercado consumidor a adquirir e utilizar imóveis mais eficientes – o setor representa cerca de 50% do consumo de eletricidade no país. Hoje, edifícios públicos, comerciais e de serviços construídos ou projetados apresentam as melhores classificações de eficiência energética no país, dentre eles (TRISUL, 2019):

- ✓ **Edifício sede da Caixa Econômica Federal em Londrina (PR)**
- ✓ **Centro de Documentação da História da Saúde da Casa de Oswaldo Cruz/Fiocruz (RJ)**
- ✓ **Delegacia da Receita Federal em Guarulhos (SP)**
- ✓ **Nova sede do Banco Central do Brasil (RJ)**

Para adquirir o selo, são avaliados três sistemas nas edificações públicas, comerciais e de serviços: envoltória (composição de fachadas e coberturas, áreas envidraçadas etc.), iluminação e condicionamento de ar. Já nas unidades habitacionais, envoltória e sistema de aquecimento de água (TRISUL, 2019).

O selo é concedido tanto na etapa de projeto (válido até a finalização da obra) quanto na etapa de edificação construída. A certificação é emitida pela Eletrobrás após avaliação de um Organismo de Inspeção Acreditado (OIA) pelo Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), com escopo de Eficiência Energética em Edificações (OIA – EEE) (TRISUL, 2019).

Nesse sentido, o PROCEL Edifica desempenha um papel importante na promoção da eficiência energética no Brasil, trazendo benefícios significativos em termos de economia de energia e sustentabilidade. No entanto, enfrenta desafios relacionados a custos iniciais, conscientização pública e potencial impacto na indústria de energia.

4.4 CASA AZUL

A certificação Casa Azul é um programa de certificação ambiental para edificações residenciais no Brasil. O programa foi criado pela Caixa Econômica Federal em parceria com o Ministério do Meio Ambiente e tem como objetivo

promover a construção sustentável, incentivando a adoção de práticas e tecnologias que reduzam o impacto ambiental das edificações (CAIXA, 2023).

Os benefícios de obter a certificação Casa Azul incluem a valorização do imóvel, economia de recursos naturais, redução de custos operacionais (como contas de água e energia), promoção da saúde e do bem-estar dos ocupantes, e contribuição para a preservação do meio ambiente (CAIXA, 2023).

Para obter a certificação Casa Azul, os proprietários ou construtores devem seguir as diretrizes estabelecidas pelo programa e submeter o projeto e a edificação a uma avaliação realizada por profissionais capacitados. A certificação é um reconhecimento do compromisso com a sustentabilidade na construção civil e pode ser um diferencial importante em um mercado cada vez mais consciente das questões ambientais.

O Selo Casa Azul + CAIXA possui 4 níveis de gradação - Cristal, Topázio, Safira e Diamante - concedidos conforme a pontuação alcançada nos 51 critérios de avaliação existentes, somada à pontuação Bônus. Sua sistemática prevê pontuação, fixa ou variável, de acordo com o critério de avaliação, conforme Quadro Resumo abaixo (CAIXA, 2023).

Os critérios de avaliação estão distribuídos nas Categorias “Qualidade Urbana e Bem-Estar”, “Eficiência Energética e Conforto Ambiental”, “Gestão Eficiente da Água”, “Produção Sustentável”, “Desenvolvimento Social” e “Inovação”. Para obtenção do Selo Casa Azul + CAIXA, o empreendimento deve alcançar conforme Figura 01 (CAIXA, 2023).

Figura 01: Níveis de graduação Certificação Casa Azul

NÍVEIS DE GRADAÇÃO



Identificadores:



Para obtenção do Selo CRISTAL atender a 16 critérios obrigatórios, para obtenção dos Selos TOPÁZIO ou SAFIRA, atender a 17 critérios obrigatórios e para o Selo DIAMANTE, atender a 24 critérios obrigatórios.

Fonte: CAIXA, 2023.

✓ MRV

- A MRV lidera lista de empreendimentos certificados com o 'Selo Casa Azul'.
- São 174 empreendimentos que conquistaram esse reconhecimento, que é um instrumento técnico de classificação ESG¹, destinado a projetos habitacionais que adotam soluções eficientes de sustentabilidade.

✓ BRZ

- A BRZ, construtora mineira que atua há mais de 10 anos no Sudeste e que já entregou mais de 16 mil apartamentos, recebeu em um de seus empreendimentos o selo Casa Azul.
- O Portal Terras de Carrara, o mais novo lançamento BRZ em Hortolândia (SP), foi o empreendimento contemplado com o selo Casa Azul Caixa.
- A empresa já é reconhecida por entregar empreendimentos com alta qualidade, com plantas inteligentes e projetos sustentáveis.

✓ ATR

- A construtora ATR tem dois empreendimentos com o selo que alcançaram o nível Topázio. Em 2021, o Terrazzo Tomio foi o primeiro empreendimento da ATR a ser reconhecido com o selo Casa Azul, depois o Arandá – Apê

¹Environmental, Social and Governance: corresponde às práticas ambientais, sociais e de governança de uma organização.

Inteligente.O Lummi – Imóvel Arte, prédio de padrão luxo e iluminado naturalmente, também conquistou o selo Casa Azul de nível Topázio.Issso mostra que os projetos ATR estão cada vez mais sendo reconhecidos como empreendimentos de excelência (ATR, 2023).

Nesse sentido, a certificação Casa Azul, como muitos outros programas de certificação ambiental para edificações, oferece vantagens e desvantagens, conforme Quadro 04, que devem ser consideradas pelos proprietários, construtores e profissionais do setor.

Quadro 04: Vantagens e desvantagens Certificação Casa Azul

Vantagens da Certificação Casa Azul	
Sustentabilidade Ambiental	Uma das principais vantagens é que a certificação Casa Azul promove a construção sustentável, o que ajuda a reduzir o impacto ambiental das edificações, incluindo o uso eficiente de recursos naturais e a redução de emissões de carbono.
Economia de Recursos	A certificação incentiva a eficiência energética, o uso racional de água e a gestão adequada de resíduos, o que pode resultar em economia de recursos naturais e redução de custos operacionais a longo prazo.
Valorização do Imóvel	Propriedades certificadas como Casa Azul geralmente são mais valorizadas no mercado imobiliário, pois são percebidas como mais sustentáveis e atraentes para compradores conscientes do meio ambiente.
Promoção da Saúde e do Bem-Estar	O programa também se preocupa com a qualidade ambiental interna das edificações, o que pode contribuir para um ambiente mais saudável e confortável para os ocupantes.
Consciência Ambiental	A certificação ajuda a aumentar a conscientização sobre a importância da construção sustentável entre os profissionais do setor e a população em geral.
Desvantagens da Certificação Casa Azul	

Custo Inicial	A busca pela certificação Casa Azul pode envolver custos adicionais durante o projeto e a construção, incluindo a contratação de especialistas para orientar o processo.
Complexidade	O processo de certificação pode ser complexo e exigir um acompanhamento rigoroso para garantir a conformidade com os critérios estabelecidos.
Tempo	A obtenção da certificação pode adicionar tempo ao ciclo de desenvolvimento de um projeto, uma vez que requer planejamento e monitoramento adicionais.
Restrições de Projeto	Alguns critérios da certificação podem impor restrições ao projeto ou à escolha de materiais, o que pode limitar a criatividade ou a flexibilidade do construtor ou proprietário.
Custos de Manutenção	Embora as edificações certificadas possam economizar em custos operacionais a longo prazo, podem haver custos adicionais de manutenção e operação para manter os padrões de certificação.
Desconhecimento	Algumas pessoas podem não estar familiarizadas com a certificação Casa Azul ou não valorizá-la, o que pode limitar o impacto da certificação em termos de valorização do imóvel.

Fonte: Adaptado de OLIVEIRA, 2021.

É importante notar que as vantagens e desvantagens podem variar dependendo do projeto específico, das circunstâncias e dos objetivos do construtor ou proprietário. Portanto, a decisão de buscar a certificação Casa Azul deve ser tomada com base nas necessidades e prioridades individuais de cada projeto.

4.5 ANÁLISE COMPARATIVA

Certificações ambientais desempenham um papel importante na promoção da sustentabilidade, pois permitem que organizações, produtos ou processos demonstrem seu compromisso com práticas ambientalmente responsáveis. Essas certificações são concedidas com base no cumprimento de critérios específicos

relacionados à gestão ambiental, redução de impactos ambientais, eficiência energética, uso responsável de recursos naturais, entre outros (DARDENGO, 2017).

De acordo com Keeler e Vaidya (2018), os sistemas de certificações sustentáveis foram criados para assegurar que um material ou uma construção tenham características sustentáveis. Para a obtenção da certificação, é preciso atender à alguns critérios estabelecidos que variam de acordo com cada tipo de sistema. De maneira geral, os sistemas de certificações ou as diretrizes de sustentabilidade abordam mundialmente como reduzir a degradação do meio ambiente e melhorar a qualidade dentro de uma construção em suas diferentes etapas.

A escolha da certificação depende do setor, dos objetivos e do público-alvo. Elas servem não apenas para promover a sustentabilidade, mas também para diferenciar produtos e organizações no mercado, fornecendo aos consumidores informações transparentes sobre práticas ambientais responsáveis (CUNHA; AUGUSTIN, 2014).

As certificações ambientais para edificações, como LEED, AQUA, PROCEL Edifica e Casa Azul, têm como objetivo promover a construção sustentável, mas podem variar em termos de critérios, foco e reconhecimento conforme Quadro 05.

Quadro 05: Comparativo das certificações ambientais

	LEED	AQUA-HQE	PROCEL Edifica	Casa Azul
Foco	LEED é um programa internacional amplamente reconhecido que se concentra em diversos aspectos da construção sustentável, incluindo eficiência energética, uso racional de água, qualidade ambiental interna, escolha de materiais sustentáveis, transporte, entre outros.	AQUA-HQE é uma certificação francesa que enfatiza a qualidade ambiental de edifícios ao longo de seu ciclo de vida, incluindo planejamento, construção, operação e desmontagem. Ela abrange eficiência energética, materiais sustentáveis, conforto dos ocupantes e outros aspectos.	PROCEL Edifica é um programa brasileiro que se concentra principalmente na eficiência energética das edificações, com o objetivo de promover a economia de energia e reduzir as emissões de carbono.	Casa Azul é um programa brasileiro que se concentra na construção sustentável de edifícios residenciais, incluindo eficiência energética, uso racional de água, gestão de resíduos e qualidade ambiental interna.
Reconhecimento	É amplamente reconhecido internacionalmente e é usado em muitos países ao redor do mundo. Ele é uma das certificações mais conhecidas globalmente.	É amplamente reconhecido na França e em alguns outros países europeus.	É uma certificação reconhecida no Brasil, com foco específico em questões energéticas.	É amplamente reconhecido no Brasil e é específico para edifícios residenciais.
Níveis de certificação	Oferece diferentes níveis de certificação, como Certificado, Prata, Ouro e Platina, com base no desempenho da edificação em relação aos critérios estabelecidos.	Oferece diferentes níveis de acordo com o desempenho ambiental da edificação.	Oferece diferentes níveis de acordo com a eficiência energética da edificação.	Oferece diferentes níveis de acordo com o desempenho ambiental da edificação residencial.

Fonte: autoria própria, 2023

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos impactos e benefícios das certificações ambientais na indústria da construção civil demonstra que elas desempenham um papel fundamental na promoção da sustentabilidade, minimização dos impactos ambientais, e melhoria da eficiência operacional na construção civil.

Os benefícios identificados são notáveis, abrangendo desde a redução das emissões de carbono e economia de recursos naturais até a criação de ambientes mais saudáveis para ocupantes de edifícios. Além disso, as certificações também trazem vantagens econômicas e sociais, tais como a diminuição dos custos operacionais a longo prazo, o estímulo à inovação e a geração de empregos no setor.

Apesar dos desafios iniciais, como custos adicionais da certificação, a longo prazo, os benefícios superam amplamente os custos, tanto para as empresas do setor quanto para a sociedade em geral. Em um cenário global cada vez mais preocupado com questões ambientais e climáticas, as certificações ambientais na construção civil desempenham um papel crítico na busca por um desenvolvimento mais responsável e sustentável. Portanto, é fundamental que empresas, profissionais e governantes continuem a promover e aprimorar a adoção dessas práticas.

O setor da construção civil tem o potencial de ser um agente de mudança significativo em direção a um futuro mais sustentável. Ao integrar as certificações ambientais em suas operações, a indústria pode contribuir não apenas para a preservação do meio ambiente, mas também para a construção de um legado de responsabilidade ambiental e social.

Por fim, as certificações ambientais na indústria da construção civil não são apenas uma tendência passageira, mas sim uma necessidade imperativa em um mundo que busca equilibrar o crescimento econômico com a preservação do planeta. Elas representam um compromisso com um futuro mais sustentável, uma responsabilidade para com as gerações presentes e futuras.

REFERÊNCIAS

ALYRIO, R. D. **Métodos e técnicas de pesquisa em administração**. Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2009.

ARAÚJO, J. S. **Estudo de ações sustentáveis para o exercício da construção civil com base em análise dos impactos ambientais gerados**. Guaratinguetá/SP: Universidade Estadual Paulista, 2020.

ARAÚJO, A. O.; OLIVEIRA, M. C. **Tipos de pesquisa**. São Paulo, 1997.

BORGES, I. M. **Análise de práticas sustentáveis e viabilidade financeira para a construção de uma casa popular no município de Rio Verde – GO**. Monografia (Graduação). Câmpus Rio Verde/GO: Instituto Federal Goiano, 2023.

BORTOLUZZI, A. C. **Principais desafios para a implantação de métodos sustentáveis na construção civil no Brasil e a importância do planejamento para a sua manutenção**. Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL, 2017.

CAIXA. **Selo Azul + Caixa**. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/sustentabilidade/negocios-sustentaveis/selo-casa-azul-caixa/Paginas/default.aspx>. Acesso em 24 ago. 2023.

CONCEIÇÃO, J. F.; SANTOS, M. P. **Construção sustentável**. Engenharia na prática: construção e inovação - vol.3. Rio de Janeiro/RJ: Universidade Estácio de Sá, 2021.

COSTA, B. S. L. M. **Um estudo sobre a sustentabilidade**. Trabalho de Conclusão de Curso. Belo Horizonte/MG: Universidade Federal de Minas Gerais, 2019.

CUNHA, B. P.; AUGUSTIN, S. **Sustentabilidade ambiental: estudos jurídicos e sociais**. Dados Eletrônicos. Caxias do Sul, RS: Educs, 2014.

CUNHA, J. R.; SILVA, T. C. **Sistemas de certificação como instrumentos norteadores da sustentabilidade ambiental na Construção civil**. Trabalho de Conclusão de Curso. Goiânia/GO: Universidade Federal de Goiás, 2010.

DARDENGO, B. C. **Vantagens e impactos de certificações ambientais para a construção civil**. Rio de Janeiro/RJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017.

DEVEZA, A. C. P. **Análise dos benefícios da eficiência energética para o setor elétrico brasileiro**. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2016.

FONSECA, R. C. **Indicadores de sustentabilidade empresarial de boas práticas para micro e pequenas empresas: análise crítica e framework conceitual**. Curitiba/PR: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2020.

FURUKAWA, F. M.; CARVALHO, B. B. **Técnicas construtivas e procedimentos sustentáveis - estudo de caso**: edifício na cidade de São Paulo. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Estadual Paulista, 2011.

GBC – GREEN BUILDING COUNCIL. **Conheça nossas Certificações**. Disponível em: <https://www.gbcbrazil.org.br/>. Acesso em 02 set. 2023.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

GRITTI, G. C. M.; LANDINI, M. C. **Construção sustentável**: Uma opção racional. Itatiba/SP: Universidade São Francisco, 2010.

HENKES, J. A. **Gestão ambiental e desenvolvimento sustentável**: design instrucional. Palhoça/SC: UnisulVirtual, 2014.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil**: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

KEELER, M.; VAIDYA, P. **Fundamentos de Projeto de Edificações Sustentáveis**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018

LANTAR. **Certificações de sustentabilidade na construção civil**: quais são e para que servem? 2020. Disponível: <https://lantar.com.br/certificacoes-de-sustentabilidade-na-construcao-civil/>. Acesso em: 10 jun. 2023.

LIMA, R. M. S. R. **Construções sustentáveis**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2018.

LUZ, A. P. W. **Estudo da eficiência energética no centro de educação infantil cantinho dos anjos em Capivari de Baixo – SC**. Trabalho de Conclusão de Curso. Tubarão/SC: Universidade do Sul de Santa Catarina, 2017.

MARTINS, A. P. *et al.* **Gestão da Eficiência Energética e Sustentabilidade Um Estudo de Caso na Kicaldo e Lanza Transportes**. Goiânia/GO: Fundação Dom Cabral, 2018.

MENDES, M. G. S. **Estudo de caso do processo de certificação ambiental na etapa de projetos de empreendimentos da construção civil**. Belo Horizonte/MG: Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.

MENKES, M. **Eficiência energética, políticas públicas e sustentabilidade**. Tese de Doutorado. Brasília/DF: Universidade de Brasília, 2004.

MIRANDA, B.; MORETTO, I.; MORETO R. **Gestão Ambiental nas Empresas**. São Paulo/SP: Pontifícia Universidade Católica De São Paulo, 2019.

MORETTO, C. F.; GIACCHINI, J. **Do surgimento da teoria do desenvolvimento sustentável à concepção de sustentabilidade**: velhos e novos enfoques rumo ao

desenvolvimento sustentável. In: Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ambiental, 6., 2005, Brasília. Anais... Brasília, DF: UNB, 2005.

OLIVEIRA, A. S. N. **Potencialidades do uso do selo casa azul sob a ótica dos empreendedores.** Dissertação. Viçosa/MG: Universidade Federal de Viçosa, 2021.

OLIVEIRA, M. M. D. *et al.* **Cidadania, meio ambiente e sustentabilidade.** Caxias do Sul, RS: Educs, 2017.

OLIVEIRA NETO, E. V.; MAGALHÃES, P. W. O. **Avaliação de impactos ambientais (AIA) em canteiros de obras públicas e privadas no município de Capanema/PA.** Capanema/PA: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2019.

OLIVEIRA, T. Y. M. **Estudo sobre o uso de materiais de construção alternativos que otimizam a sustentabilidade em edificações.** Rio de Janeiro/RJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.

PATRICIO, R. M. R. **Desenvolvimento de metodologia para avaliação de desempenho ambiental em edifícios adaptada à realidade do nordeste brasileiro.** Natal/RN: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2005.

ROTH, C. G.; GARCAS, C. M. Desenvolvimento em Questão Construção Civil e a Degradação Ambiental. **Editora Unijuí**, ano 7, n. 13, jan./jun., 2009.

SANTANA, I. C. **Análise dos impactos ambientais causados pelos resíduos sólidos de construção e demolição em Conceição do Almeida – BA.** Trabalho de Conclusão de Curso. Cruz das Almas/BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2016.

SILVA JUNIOR, A. R.; FREITAS, J. L. **Sustentabilidade na Construção Civil: Histórico, Conceito, algumas Técnicas e Tecnologias utilizadas no Brasil.** Faculdade AGES, 2022.

SANTOS, I. R. **Medidas para a redução dos impactos ambientais gerados pela construção civil.** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.

SCHWABE, P. D. **Vantagens da certificação ambiental para empresas.** São Paulo: Universidade Federal do Paraná, 2011.

SOUZA, F. R. **Gestão de projetos x impactos ambientais na construção civil.** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2023.

TRISUL. **Para entender o selo Procel Edifica.** 2019. Disponível em: <https://www.universidadetrisul.com.br/sustentabilidade/para-entender-selo-procel-edifica>. Acesso em 01 set. 2023.

VERGARA, S. C. **Métodos de pesquisa em administração.** São Paulo: Atlas, 2005.

**ESDRAS GABRIEL TORQUATO ARANTES
DANIEL REIS IGNÁCIO**

**UMA ANÁLISE PARAMÉTRICA DOS MÉTODOS DE
DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS**

Trabalho de Conclusão de Curso – TCC –
apresentado ao curso de Engenharia Civil da
Faculdade Vértix Trirriense, como requisito parcial
à obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof D. Sc. Saul Germano Rabello
Quadros

Linha de pesquisa: Engenharia de Pavimentação

TRÊS RIOS – RJ

2023

AGRADECIMENTOS

Como Principal Orientador em todo o desenvolvimento, agradecemos à Deus pela Sua guia, sem Ele nada disso seria possível.

Agradecemos imensamente aos nossos familiares pelo apoio em todo o processo, horas afincos em que madrugamos com o intuito de produzir e podermos gerar resultados para esta pesquisa.

Agradecemos aos nossos companheiros de classe, que nos apoiaram em todo o processo, com palavras de encorajamento e motivação.

Agradecemos à Instituição Univértix e seus colaboradores por fazerem parte desta grande etapa das nossas vidas.

Agradecemos à nossa coordenadora, M. Sc. Rita de Cássia Teixeira de Assis, pelo seu amor e zelo com o nosso desenvolvimento. Você é muitíssimo especial e merece as honras pela modelagem do profissional que posteriormente iremos nos tornar, com a ajuda de Deus.

Agradecemos em especial ao nosso orientador, D. Sc. Saul Germano Rabello Quadros, por acreditar que poderíamos desenvolver este trabalho. Agradecemos pela sua dedicação e palavras congruentes com a realidade em que vivemos, mas que ainda assim nos apoiou e auxiliou em todo o processo.

Agradecemos ao professor M. Sc. Vitor Iotte Medeiros, por também acreditar que conseguiríamos dar conta daquilo que era solicitado.

De uma forma mais abrangente, agradecemos a todos os professores, profissionais que conquistaram o nosso profundo senso de admiração e respeito, que fizeram parte da nossa formação e sem os quais nada disso estaria sendo possível.

RESUMO

ESDRAS GABRIEL TORQUATO ARANTES.; DANIEL REIS IGNÁCIO. **Uma Análise Paramétrica dos Métodos de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Faculdade Vértix – Univértix, Três Rios/RJ.

Os pavimentos são estruturas de extrema importância no Brasil, visto que o modal de transporte predominante é o rodoviário. O dimensionamento de pavimentos é feito exclusivamente com base no Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte – DNIT – e tem como principal metodologia o método do CBR e o TECNAPAV, sendo eles baseados no método empírico e mecanístico-empírico respectivamente. Portanto, foi feita uma análise paramétrica das principais variáveis que influenciam no dimensionamento dos pavimentos. Essas variáveis, em grande parte, são geradas pela variação do número N, que é um parâmetro dependente do volume de tráfego e dos sistemas de pesagem dos veículos. A proposta é definir essas variáveis e fazer cada uma delas se alterar enquanto as demais se mantêm fixas. Para análise de resultados, foi selecionado um trecho da rodovia BR 393/RJ, Km 135 (Rodovia Lúcio Meira), sendo as análises separadas em 3 anos: 2017, 2018, 2019, descartando períodos de pandemia por variações sazonais. Nesta análise foram levados em consideração as variações do tráfego em um fator direcional, por períodos semanais e anuais, para os diferentes tipos de eixos de veículos comerciais que transitaram na via. Os resultados seguem para responder as questões norteadoras deste trabalho, que implicam em verificar se variações não significativas de tráfego e pesagem influenciam no dimensionamento. Portanto, foi constatado que essas variações não atestam significativas mudanças para a espessura das camadas do pavimento. Já em última instância, os resultados das simulações verificando o CBR, mostram que os métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis analisados, são “mais sensíveis” à variações aos parâmetros de resistência dos materiais granulares e betuminosos.

PALAVRAS-CHAVE: Engenharia; Dimensionamento, Pavimento; Tráfego; Análise Paramétrica.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2. 1 Camadas que compõem o pavimento	6
Figura 2. 2: Diferentes camadas que compõem os pavimentos.....	13
Figura 2. 3: Ábaco das relações do CBR.....	14
Figura 2. 4: Coeficientes de equivalência estrutural	15
Figura 2. 5: Desenvolvimento pelo método CBR	15
Figura 2. 6: Exemplo de um sistema de contagem/pesagem dinâmica - PNCT	23
Figura 2. 7: Tipos de eixos considerados para apropriação de pesos.	24
Figura 2. 8: Exemplo de operação de uma UMO-E do DNIT	25
Figura 2. 9: Volume Horário (VH) - contagem contínua - km 21 da BR060/GO.	27
Figura 2. 10: Contador manual eletrônico.....	29
Figura 2. 11: Contador portátil automático "Hi-Star"	30
Figura 3. 1: Ilustração da rota entre o início e fim do trecho de projeto.	36
Figura 4. 1: Posto de contagem de tráfego de curto período – trecho de projeto.	37
Figura 4. 2: Estação de contagem de tráfego contínua – dados de referência, 2017.....	38
Figura 4. 3: Estação de contagem de tráfego contínua – dados de referência, 2018.....	39
Figura 4. 4: Estação de contagem de tráfego contínua – dados de referência, 2019.....	40
Figura I. 1: Ficha I de contagem volumétrica.....	66
Figura I. 2: Ficha II de contagem volumétrica de tráfego	67
Figura I.3: Classificação veicular adotada na Pesquisa Nacional de Tráfego (PNT).....	68
Figura I.4: Classificação veicular adotada na Pesquisa Nacional de Tráfego (PNT).....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 2. 1: Modelos de Desempenho.....	8
Tabela 2. 2: Vantagens do método	9
Tabela 2. 3: Propriedades das camadas dos pavimentos	11
Tabela 2. 4: Fórmulas de referência - espessuras das camadas do pavimento	16
Tabela 2. 5: Relação do grau de resiliência e característica do solo.....	18
Tabela 2. 6: Estimativa da precisão de alguns sistemas de medição.....	22
Tabela 2. 7: Limites admissíveis para variação dos valores de pesagem: PNCT	23
Tabela 4. 1: Resultados obtidos pela análise do parâmetro percentual de volumetria.	52
Tabela 4. 2: Resultados obtidos pela análise do parâmetro percentual de peso.	53
Tabela 4. 3: Variação das espessuras das camadas do pavimento em função do CBR.	56
Tabela 4. 4: Variação do volume de veículos comerciais no cenário base. ...	58
Tabela 4. 5: Variação do volume de veículos comerciais no cenário limite de peso.	59
Tabela II. 1: Cenário de Simulação I – espessuras das camadas do pavimento.	76
Tabela II. 2: Cenário de Simulação II – espessuras das camadas do pavimento	81
Tabela II. 3: Cenário III – espessuras das camadas de pavimento.	82

LISTA DE QUADROS

Quadro 2. 1: Relação das peneiras	11
Quadro 2. 2: Variações de acordo com a espessura do revestimento.....	12
Quadro 2. 3: Classificação dos solos finos quanto à resiliência.....	17
Quadro 3. 1: Segmento de rodovia selecionado para trecho de projeto.	35
Quadro 4. 1: Cálculo do fator de sazonalidade para estimativa de VMDa.....	42
Quadro 4. 2: Cálculo do fator de direcional e do VMDa por sentido.	42
Quadro 4. 3: Distribuição percentual das classes de veículos comerciais, em relação ao VMDa, por tipo de eixo e sentido.....	46
Quadro 4. 4: Distribuição volumétrica (vhp), pelas classes de veículos utilizadas para cálculo do número N.....	46
Quadro 4. 5: Distribuição dos pesos médios (ton), pelos tipos de eixos (simples, tandem duplo e triplo) – sentido C.....	46
Quadro 4. 6: Planilha final de cálculo do número N – sentido C.	47
Quadro 4. 7: Valores limites de peso por tipo de eixo, por categorias de classes de veículos comerciais (ton.).....	48
Quadro II.1: Distribuição percentual do volume semanal, posto de pesquisa.	70
Quadro II. 2: Cenário de Simulação I.A – variação de 10% do VMDa do ano base.....	72
Quadro II. 3: Cenário de Simulação I.B – redução de 15% do VMDa do ano base, das classes D, E, e >=6 Eixos.....	73
Quadro II. 4: Cenário de Simulação I.C – redução de 20% do VMDa do ano base, das classes D, E, e >=6 Eixos.....	74
Quadro II. 5: Cenário de Simulação I.D – redução de 25% do VMDa do ano base, das classes D, E, e >=6 Eixos.....	75
Quadro II. 6: Cenário de Simulação II.A – variação de -12% dos valores peso por tipo de eixo.	77

Quadro II. 7: Cenário de Simulação II.B – variação de -2% dos valores peso por tipo de eixo.	78
Quadro II. 8: Cenário de Simulação II.C – variação de +2% dos valores peso por tipo de eixo.	79
Quadro II. 9: Cenário de Simulação II.D – variação de +2% dos valores peso por tipo de eixo.	80

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	OBJETIVO	2
1.2	JUSTIFICATIVA.....	3
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	4
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	5
2.1	MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS	5
2.1.1	GENERALIDADES DOS PAVIMENTOS.....	5
2.1.2	ABORDAGEM METODOLÓGICA	7
2.1.3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1.4	MÉTODO DO CBR.....	10
2.1.5	MÉTODO DA RESILIÊNCIA – TECNAPAV	16
2.2	REVESTIMENTO BETUMINOSO E CAMADAS GRANULARES	19
2.3	DETERMINAÇÃO DO NÚMERO N	19
2.3.1	ESTIMATIVAS DE PESAGEM VEICULAR	20
2.3.2	ESTIMATIVAS DE VOLUME CLASSIFICADO DE TRÁFEGO.....	25
2.3.4	MODELOS DE PROJEÇÃO DE TRÁFEGO	31
3	METODOLOGIA.....	33
3.1	CRITÉRIOS	33
3.2	TRECHO DE PROJETO E REGRAS DE SIMULAÇÃO	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1	ESTIMATIVA DE TRÁFEGO DO TRECHO DE PROJETO	37
4.2	COMPOSIÇÃO DOS CENÁRIOS	49
4.3	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	51
4.4	ANÁLISE GERAL.....	60
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
	ANEXO I	66
	ANEXO II	70

1. INTRODUÇÃO

A análise paramétrica refere-se ao processo de como um sistema ou fenômeno muda, em resposta a variações de parâmetros específicos. Em outras palavras, ela investiga como as mudanças nos parâmetros afetam o comportamento ou características de um sistema.

Os parâmetros são quantidades que podem ser alteradas ou ajustadas em um modelo ou sistema. Essas mudanças nos parâmetros podem ter impactos significativos nas propriedades ou resultados do sistema em estudo. A análise paramétrica é frequentemente utilizada em várias disciplinas, como matemática, física, engenharia, economia e ciências da computação.

A análise paramétrica é valiosa para entender as relações causa-efeito entre os parâmetros e os resultados, o que pode ajudar na otimização de projetos, na previsão de padrões de variação e na orientação de decisões técnicas.

A proposta deste trabalho é avaliar as variações das espessuras de pavimentos flexíveis (parâmetro dependente), determinadas em função da variação quantitativa dos parâmetros independentes que a determinam. Para isso, tem-se como objetivo avaliar o método de dimensionamento de pavimentos flexíveis preconizado no arcabouço normativo do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

Parte-se da suposição que existem incertezas estatísticas na quantificação dos parâmetros desse método, especialmente nas estimativas de volumetria de tráfego, considerando suas projeções em períodos de 10 a 20 *anos*, distribuídas em diferentes classes de veículos comerciais. O estudo foca em dois grupos principais de parâmetros, ou seja:

- físicos-mecânicos, dos materiais constituintes das camadas estruturantes dos pavimentos flexíveis e;
- forças-solicitantes, que são as fontes geradoras das tensões transmitidas para e entre essas camadas, oriundas do contato dos sistemas eixos-pneus e pavimento, quantitativamente determinados pela volumetria de tráfego comercial.

De acordo com a descrição anterior, a questão norteadora deste trabalho se baseia no quanto possíveis incertezas estatísticas de quantificação do número N alteram os resultados do dimensionamento das camadas componentes de pavimentos flexíveis.

1.1. OBJETIVO

A proposta deste trabalho é produzir uma análise técnica e científica sobre os principais parâmetros utilizados nos métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis, considerando aqueles que são recomendados pelos manuais técnicos e/ou instrumentos normativos, amplamente consagrados pela engenharia brasileira e orientam os serviços de elaboração de estudos e projetos de rodovias.

Esse trabalho, especificamente, é direcionado para analisar os modelos matemáticos de estimativa do número de repetições equivalentes ao eixo padrão, ou seja, o número N, parâmetro fundamental para o cálculo e dimensionamento das camadas granulares e de revestimento betuminoso, que compõem os elementos estruturais dos pavimentos flexíveis.

O foco principal dessa análise são os métodos indicados pelo Manual de Pavimentação, pertencente ao arcabouço normativo do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT.

A abordagem metodológica adotada nos manuais e instrumentos normativos do DNIT são, geralmente, referenciais para outros documentos de natureza semelhante, editados e publicados por agências, diretorias, secretarias e outros setores do poder público, tanto no âmbito federal como nas esferas estaduais e municipais. Por isso, ao dar ênfase e foco naquilo que é preconizado nas práticas e métodos do DNIT, ter-se-á avaliado, em certa e ampla medida, às demais orientações técnicas vigentes e praticadas no território brasileiro.

Assim, para atender ao objetivo deste trabalho, pretende-se avaliar e validar uma observação, e verificar duas específicas questões, que são:

Observação: entre os parâmetros determinantes para o dimensionamento de pavimentos flexíveis, aquele de menor confiança estatística ao controle dos projetistas é o cálculo do número N, devido a complexidade de se estimar e projetar volumetria classificada de veículos, em especial, os comerciais (ônibus e caminhão).

Questão I: variações percentuais não significativas dos volumes de tráfego de determinados veículos comerciais, resultam em significativas variações das espessuras das camadas granulares e do revestimento de pavimentos flexíveis?

Questão II: variações percentuais não significativas nas pesagens veiculares, por tipo de eixo, resultam em significativas variações das espessuras das camadas granulares e do revestimento de pavimentos flexíveis?

A proposta é avaliar qual o efeito das estimativas e projeções de tráfego elaboradas segundo as recomendações do Manual de Pavimentação do DNIT, considerando se são capazes de garantir uma confiança estatística adequada, quando utilizadas com a finalidade de dimensionamento de pavimentos flexíveis. Ademais, “simular” variações de percentuais volumétricos entre essas classes e verificar seus efeitos no citado dimensionamento.

De forma semelhante, avaliar os elementos que demonstrem o mesmo efeito, quando se trata das estimativas de pesagem veiculares, para veículos comerciais (caminhões e suas combinações) utilizados para a mesma finalidade.

Além disso, comparar o grau de “sensibilidade” dos métodos de dimensionamento do DNIT, quanto aos parâmetros relacionados com a resistência do solo de fundação e materiais granulares (Índice de Suporte Califórnia, ISC ou CBR) utilizados nas construções das rodovias de pavimentos flexíveis.

Em suma, analisar cada um desses três parâmetros de forma isolada, sendo variável apenas um deles, enquanto os demais permanecem inalterados no cenário de simulação, quando executados segundo as orientações do Manual de Pavimentação do DNIT. A ideia central passa por verificar se tais variações, especialmente do tráfego e peso, “sensibilizam” os resultados do dimensionamento das espessuras dessas camadas.

1.2 JUSTIFICATIVA

A relevância deste trabalho está sustentada na própria revisão bibliográfica, que demonstra a preocupação técnica e científica do setor de engenharia rodoviária, no aperfeiçoamento das técnicas e modelos de estimativas de volumetria classificada de tráfego comercial, para garantir a confiança estatística necessária aos resultados de dimensionamento de pavimentos flexíveis e outras finalidades do setor de infraestrutura rodoviária.

Isso também inclui os esforços técnicos e científicos empreendidos para proposição de modelos mecanísticos, cuja abordagem se diferencia dos atuais métodos, pela análise de resiliência dos solos de fundação (subleitos) e pela forma como esses três principais parâmetros de interesse são correlacionados.

A justificativa desse trabalho se sustenta, ainda, na diversidade de projetos de dimensionamento de pavimentos flexíveis executados periodicamente no Brasil. Isso está diretamente associado com o crescimento anual da extensão da malha rodoviária nacional pavimentada. Por isso, considera-se relevante avaliar e verificar quais são os impactos técnicos da estimativa do número N nesses dimensionamentos, sendo que, ainda, a maioria das abordagens metodológicas se baseiam naquilo que é indicado no Manual de Pavimentação do DNIT.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho foi dividido em 4 capítulos e 2 anexos, respectivamente. O primeiro capítulo envolve a introdução do trabalho, sendo a mesma composta pelos objetivos, problema de pesquisa, justificativa e estrutura do trabalho.

O capítulo 2 foi distribuído em 3 itens e 8 subitens. Nele será tratado sobre os diferentes tipos de pavimentos utilizados atualmente e seus métodos de dimensionamento, com foco nos preconizados pelo DNIT, como o CBR e o método da resiliência. Trata, também dos aspectos sobre os materiais que fazem parte das camadas dos pavimentos, bem como as suas separações, partindo da camada superficial (revestimento betuminoso) e as demais que compõe a estrutura até o subleito (fundação). Essas camadas são compostas por materiais terrosos e pétreos, de diferentes granulometrias.

A determinação do número N também está pautada no capítulo 2. Este fator é de suma importância, pois diz respeito à variação de tráfego que faz parte de uma via em dimensionamento. O mesmo, para ser compreendido de maneira satisfatória, necessita dos dados de pesagem, estimativas de volume classificado e modelos de projeção de tráfego.

O capítulo 3 e 4 são inteiramente pautados na metodologia de pesquisa e obtenção de resultados, nessa ordem.

Por fim, as considerações finais, que nortearão para a continuação dessa pesquisa, buscando maneiras de agregar o cenário da engenharia de pavimentação.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Em contextos gerais, o dimensionamento de um pavimento pode ser feito baseado em três metodologias, sendo, respectivamente, por método: empírico, mecanístico-empírico e mecanístico.

Esse Capítulo 2 é dedicado a tratar desse tema, considerando a divisão dos métodos de dimensionamento, suas características gerais, contudo, apresentando foco naqueles que já se estabelecem pela aprovação de utilização em ampla escala, como os preconizados pelo Manual de Pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte – DNIT.

Nesse contexto, as metodologias de dimensionamento de pavimentos flexíveis consideram uma variedade de critérios relacionados com a ruptura da estrutura, pois de forma recorrente o pavimento sofre uma deformação por parte do excesso de carga à que está sendo submetido, bem como a ruptura por fadiga e por funcionalidade, em função do padrão de segurança e conforto aos seus usuários (FERNANDES, 2016 apud BALBO, 2007).

Os tipos de pavimentos rodoviários existentes e as suas devidas utilizações, diferenças e classificações mecânicas estabelecem uma distinção relevante, pois limita a forma como são dimensionados. Uma boa compreensão das diferenças entre os tipos de pavimentos se faz necessária para um bom aproveitamento econômico, de materiais e métodos construtivos. Nesse sentido, cabe explorar esse aspecto introdutório, de forma resumida;

2.1.1 GENERALIDADES DOS PAVIMENTOS

O pavimento pode ser definido como uma superestrutura composta por um determinado número de camadas, sendo moldados de acordo com o projeto de dimensionamento e que receberá as cargas provenientes do tráfego e do próprio peso dos materiais constituintes. Conforme estabelecido no Manual de Pavimentação em uso pelo DNIT, por questões determinadas de classe técnica e econômica, o pavimento se caracteriza como uma estrutura formada por diferentes tipos de materiais com grau de resistência e deformabilidade variados (DNER, 1996).

Considerando os elementos descritos, existem três tipos de dimensionamentos que são utilizados nos projetos de pavimentação flexível, sendo eles os métodos empíricos, conforme supracitado, mecanístico-empíricos e mecanísticos. Assim, uma sucinta descrição dessa divisão é relevante para estreitar o conhecimento sobre esse assunto e permitir direcionar o foco de atenção deste trabalho.

2.1.1.1 TIPOS DE PAVIMENTOS

As principais diferenças nos tipos de pavimento se dão pela rigidez da camada de revestimento e da base. Tanto o pavimento flexível como o semirrígido são feitos pelos mesmos materiais na parte do revestimento, comumente de material betuminoso. As diferenças entre ambos estão na composição da camada da base, pois o semirrígido apresenta uma base cimentícia, com determinado teor de cimento Portland. Isso auxilia na distribuição das cargas horizontais, evitando que a camada de revestimento suporte as grandes magnitudes de tensões aplicadas, assim como a distribuição das cargas verticais até a fundação (subleito). O pavimento rígido difere de ambos devido a sua camada de revestimento, que é feita com concreto-cimento e, neste caso, não há a necessidade de uma camada de base granular, pois as cargas se distribuem inteiramente na estrutura do revestimento. Balbo (2007) expõe com clareza e eficiência as definições das camadas que compõem o pavimento, sendo divididas entre: revestimento, camada de ligação, base, sub-base, reforço do subleito e subleito, conforme a Figura 2.1.

Figura 2. 1 Camadas que compõem o pavimento

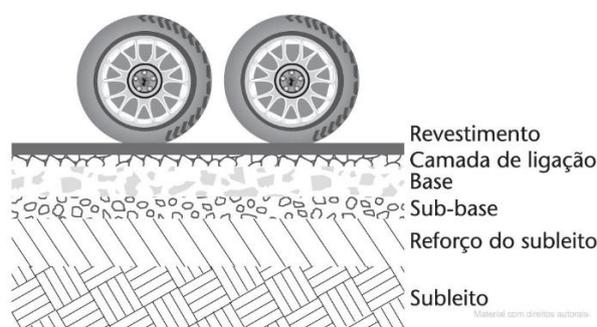


Fig. 2.2 Camadas genéricas de um pavimento

Fonte: Balbo (2007).

Referente as tensões verticais, Balbo (2007) afirma que as camadas subjacentes ao revestimento devem ser constituídas de modo a resistir as tensões que serão exercidas sobre aquela estrutura. Normalmente entre o revestimento e a fundação são colocadas camadas com menor rigidez (base e sub-base) e elas atuam para intercalar as cargas que serão distribuídas até o subleito.

2.1.2 ABORDAGEM METODOLÓGICA

Os modelos de previsão de desempenho estão ligados diretamente com a evolução constante do pavimento, essa evolução leva em consideração as características locais do mesmo, sendo elas: idade, sazonalidade, variação climática, tráfego e número estrutural (NASCIMENTO, 2005). O dimensionamento de pavimentos vem tendo um desenvolvimento progressista, que partiu de uma compreensão inteiramente empírica (sem projetos, sem delimitações de materiais), para uma concepção mecanística-empírica e caminha, no atual estado da arte, para um método puramente mecanístico. A Tabela 2.1 resume as três principais abordagens dos modelos de dimensionamento de pavimentos flexíveis existentes e praticados na atualidade.

Segundo Nascimento (2005), os modelos empíricos, também conhecidos como de regressão, fazem referência a variáveis que dependem de outras circunstâncias que não é possível manter um controle racional. O método empírico relaciona os problemas estruturais, tais como: deflexões, trincas e irregularidades longitudinais; com as variáveis independentes: tráfego, clima e fator regional. Um dos modelos mais conhecidos é o do CBR, que é o Índice de Resistência dos Materiais à compressão, baseado na brita padrão da Califórnia. O método leva em consideração dois fatores: a resistência do subleito e o tráfego de projeto. Basicamente, pode-se compreender que o CBR vai influenciar na espessura das camadas dos pavimentos, pois quanto maior o seu valor, em função da repetição do eixo padrão, ter-se-á a espessura de cada uma das camadas granulares que compõem o pavimento flexível.

Tabela 2. 1: Modelos de Desempenho

Métodos	Características	Exemplos
Empírico	São baseados em análises anteriores, sem delimitar informações concernentes as propriedades do solo e dos materiais utilizados durante a construção do pavimento.	Método de equivalência estrutural (ESAL), o método de equivalência de 8,2 tf e o método de equivalência de eixo padrão (SEL)
Mecanístico-empíricos	Parte da combinação entre as características dos materiais do pavimento e análises empíricas. Comumente usam modelos numéricos para prever como o pavimento irá atuar ao longo dos anos. Fatores que influenciam: Tráfego, características do solo e clima.	Método da ASSHTO e o MEPDG.
Mecanístico	Normalmente ele é projetado para cálculo das tensões e deformabilidades no pavimento e, possivelmente, prever a vida útil dele, bem como possíveis manutenções. Esse método é baseado nas características mecânicas dos materiais, na construção do pavimento e no comportamento dele, através de previsão de comportamento ao longo dos anos.	Método MeDiNA

Fonte: Do próprio autor (2023)

Os métodos mecanístico-empíricos são consolidados mediante as características mecânicas dos materiais do pavimento com os dados empíricos. Diferentemente do sistema totalmente empírico, eles usam modelos matemáticos para simular o comportamento do pavimento ao longo do tempo, levando em consideração fatores como o tráfego, clima e as características de resiliência do solo. Exemplos de métodos mecanístico-empíricos incluem aqueles da AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) e o MEPDG (*Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide*), proposto pelo USACE (U.S. Army Corps Engineers). A CONCEPA (2009), define o método mecanístico-empírico como sendo aquele que utiliza de teorias para prever as deformações que serão geradas por parte das variáveis independentes na parte estrutural do pavimento, buscando adaptá-las com as tensões resistentes dos materiais. A Tabela 2.2 apresenta algumas das vantagens oriundas desta metodologia:

Tabela 2. 2: Vantagens do método

1. Confiabilidade no projeto;
2. Prevenção dos defeitos que podem ser gerados posteriormente;
3. Possibilidade de ir além no que tange aos resultados de teste em campo;
4. Custo e benefício;
5. Prevenção de novas situações, caso haja aplicação de outros carregamentos;

Fonte: Adaptação de CONCEPA (2009)

Os métodos mecanísticos de dimensionamento de pavimentos flexíveis são baseados nas propriedades mecânicas dos materiais usados na construção do pavimento e na modelagem matemática do seu comportamento ao longo do tempo. Ele é projetado para calcular as tensões e deformações no pavimento, prevendo sua vida útil e a posterior necessidade de manutenção.

Atualmente, o método de dimensionamento mecanístico é usado em grande parte do mundo para dimensionar pavimentos que guardam elevada resistência (qualidade) às cargas e durabilidade. Ele apresenta um nível de precisão superior às outras metodologias, porém, em âmbito federal brasileiro, ele ainda carece de consolidação normativamente por parte do DNIT e outras instituições públicas do setor de transportes.

2.1.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Adotando uma abordagem empírica e considerando o parâmetro de resistência dos solos às tensões produzidas por cargas intermitentes (fadiga) e oriundas do tráfego veicular, foram desenvolvidos dois principais métodos, ou seja: aquele preconizado pelas normativas da USACE (*US Army Corps Enginners*) e outros pela ASSTHO (*The American Association of State Highway and Transportation Officials*). Historicamente, eles serviram de referência para as normas brasileiras de dimensionamento de pavimentos flexíveis e são válidas até os dias atuais.

Sobre isso, em 1939, O. J. Porter desenvolveu o ensaio do Índice de Suporte Califórnia (ISC), nome advindo de California Bearing Ratio (CBR), posteriormente

aprimorado pelo USACE, com o objetivo de colaborar no dimensionamento de pavimentos rodoviários. O método foi introduzido no Brasil por Murillo Lopes de Souza, engenheiro civil, em 1966, e rapidamente disseminado, por se adequar de forma satisfatória à realidade brasileira (SANTARÉM et al 2021).

Além desse método, o Manual de Estudo de Tráfego do DNIT (2006) apresenta o método da resiliência, denominado TECNAPAV, elaborado sob conceitos empírico-mecanístico. Ele foi concebido pelos engenheiros Salomão Pinto e Ernesto Prepuser em 1982 (CONCEPA, 2009). Este método é preconizado pela norma do tipo procedimento do extinto DNER PRO 269. Sua abordagem é empírica-mecanística. Esses são os dois métodos de interesse deste trabalho de conclusão de curso.

2.1.4 MÉTODO DO CBR

Segundo o Manual de Pavimentos do DNER (1996), o método do CBR foi baseado no trabalho de W.J. Turnbull, C.R. Foster e R.G. Ahlvin, do Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA, intitulado "*Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume*".

Esse método tem como base a determinação da relação entre a pressão necessária para produzir a penetração de um pistão num corpo de prova de solo e a pressão necessária para produzir a mesma penetração numa brita padrão. Essa relação é feita através de um valor percentual, ou seja, se o CBR for constatado como 15%, significa que a resistência do solo em análise é de 15% do valor da brita padrão.

Todas as camadas do pavimento passam por uma análise minuciosa para definir o valor do CBR, observe a Tabela 2.3:

Tabela 2. 3: Propriedades das camadas dos pavimentos

Propriedades das camadas do pavimento em função do CBR		
Camada	CBR	Expansão
Solo de fundação (subleito)	≥ 2%	Expansão ≤ 2% (medida com sobrecarga de 10 lb)
Materiais para reforço do subleito	Maior que o do subleito	Expansão ≤ 1% (medida com sobrecarga de 10 lb)
Materiais para sub-base	≥ 20%	Expansão ≤ 1% (medida com sobrecarga de 10 lb) Índice de grupo (IG) = 0
Materiais para base	≥ 80%	Expansão ≤ 0,5% (medida com sobrecarga de 10 lbs) Limite de liquidez ≤ 25% Índice de plasticidade ≤ 6%

Fonte: Adaptado do Manual de Pavimentação do DNER (1996)

Para a composição do pavimento é necessário restringir a granulometria dos materiais que farão parte do projeto, conforme o Quadro 2.1.

Quadro 2. 1: Relação das peneiras

Peneiras	Porcentagem em peso passando			
	A	B	C	D
2"	100	100	-	-
1"	-	75--90	100	100
3/8"	30--65	40--75	50--85	60--100
N° 4	25--55	30--60	35--65	50--85
N° 10	15--40	20--45	25--50	40--70
N° 40	8--20	15--30	15--30	25--45
N° 200	2--8	5--15	5--15	10--25

Fonte: Adaptado do DNER (1996)

Uma das variáveis que mais influenciam no dimensionamento dos pavimentos é o tráfego. Para o método CBR, o Manual do DNER (1996) apresenta algumas especificações paramétricas:

- **Tráfego** – O dimensionamento é feito em função do número de repetições de um eixo padrão (N) dentro de um limite de tráfego delimitado em projeto. A espessura das camadas do pavimento leva em consideração essas variações (Quadro 2.2):

Quadro 2. 2: Variações de acordo com a espessura do revestimento

N	Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminoso com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Fonte: Manual de Pavimentação do DNER (1996)

O cálculo do número N, segundo o Manual do DNER (1996), pode ser feito com base na equação Eq. 2.1 e 2.2:

$$N = V_t \times FV \times FR \quad \text{Eq. 2.1}$$

$$FV = FE \times FC \quad \text{Eq. 2.2}$$

Sendo:

N: número de repetições de eixos equivalentes no período *P* de projeto;

V_t: volume total de tráfego ao final do período *P* de projeto;

FV: fator de veículo;

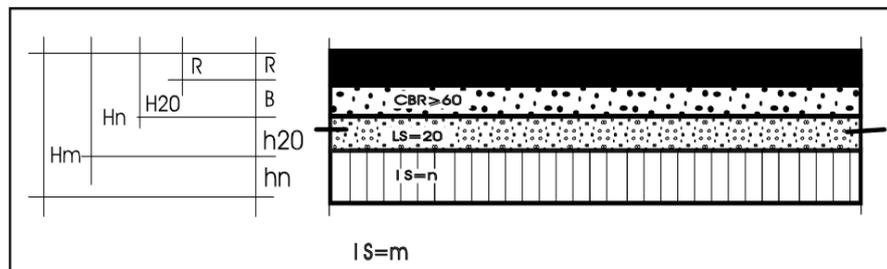
FR: fator climático;

FE: fator de eixo;

FC: fator de carga.

No método em análise, o dimensionamento do pavimento exige que seja determinada a espessura total dele, e, posteriormente o material que irá compor o revestimento. Por fim, a espessura das camadas subjacentes do pavimento (FERNANDES, 2016). A Figura 2.2, reflete as camadas de um pavimento:

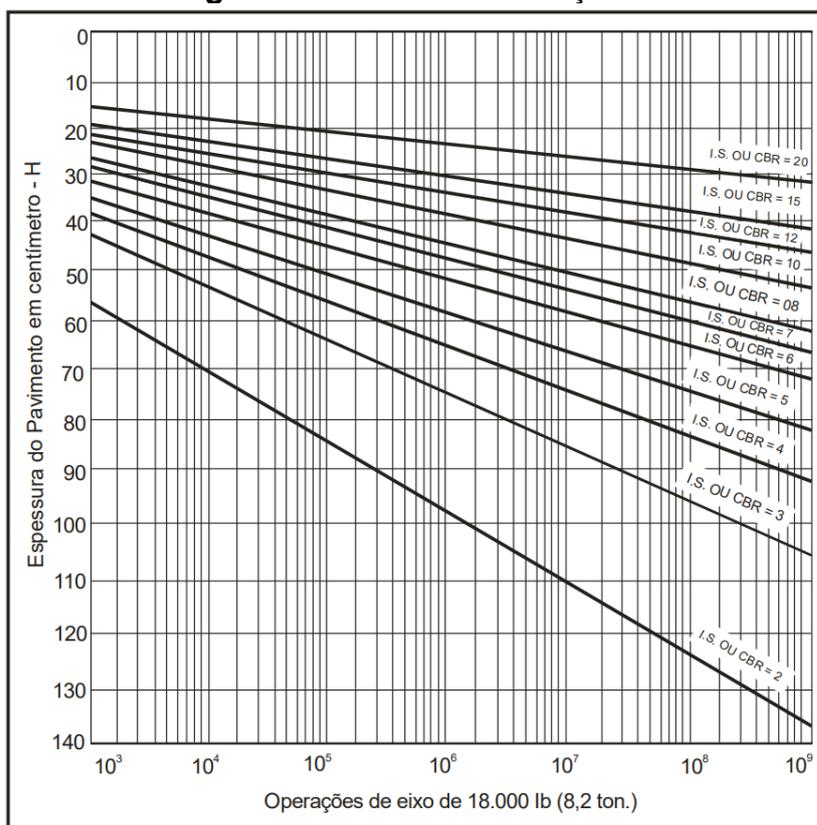
Figura 2. 2: Diferentes camadas que compõem os pavimentos



Fonte: Manual de Pavimentação do DNER (1996)

Fernandes (2016) apud Souza (1981), destaca que a espessura do pavimento, correlacionando o número de repetições do eixo padrão e o índice CBR, pode ser feita através de um ábaco (Figura 2.3):

Figura 2. 3: Ábaco das relações do CBR



Fonte: Manual de Pavimentação do DNER (1996).

Para essas camadas subjacentes, o cálculo da espessura é feito relacionando o coeficiente estrutural, a espessura das camadas de revestimento, base, sub-base e reforço do subleito, e a espessura das camadas equivalentes de pedra britada:

$$R \times Kr + B \times Kb \geq H20$$

$$R \times Kr + B \times Kb + h20 \times Ks \geq Hn$$

$$R \times Kr + B \times Kb + h20 \times Ks + hn \times Kn \geq Hm$$

Sendo:

K: equivalência estrutural;

R: valor das espessuras das camadas de revestimento, base, sub-base, e reforço do subleito;

H = Espessura das camadas equivalentes de pedra britada granular;

Para o dimensionamento e constituição dos materiais, é necessário ter conhecimento do coeficiente de equivalência estrutural (*K*), conforme a Figura 2.4:

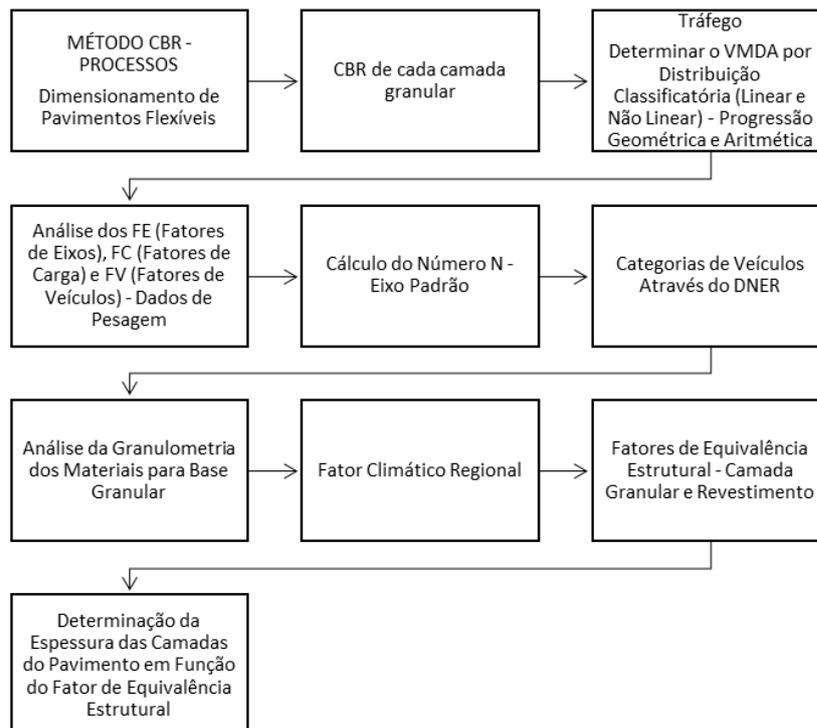
Figura 2. 4: Coeficientes de equivalência estrutural

Componentes do pavimento	Coefficiente K
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,00
Base ou revestimento pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,20
Camadas granulares	1,00
Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45 kg/cm ²	1,70
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 45 kg/cm ² e 28 kg/cm ²	1,40
Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 28 kg/cm ² e 21 kg/cm ²	1,20

Fonte: Manual de Pavimentação do DNER (1996)

O dimensionamento pelo método do CBR é feito em etapas. No subitem 2.1.4 foram detalhados os passos e suas características e, portanto, a Figura 2.5 demonstra um fluxograma, baseado nos dados fornecidos pelo DNER (1996), sobre cada etapa exigida por ele.

Figura 2. 5: Desenvolvimento pelo método CBR



Fonte: DNER (1996)

2.1.5 MÉTODO DA RESILIÊNCIA – TECNAPAV

Baseado nos modelos de fadiga de misturas asfálticas, no comportamento resiliente de solos finos e materiais granulares e no cálculo de tensões e deformações considerando a teoria da elasticidade não linear, realiza-se uma avaliação objetiva da superfície do pavimento, levantamento das deflexões recuperáveis, coleta de amostras e ensaios de caracterização, granulometria com sedimentação e CBR (CONCEPA, 2009). O dimensionamento é baseado na deflectometria, constituição do subleito e do pavimento existente. O seu parâmetro estrutural é concebido pelo modelo de resiliência, que compreende a deflexão máxima prevista para uma determinada estrutura, devido às ações de cargas repetitivas. A espessura das camadas do pavimento é determinada pelos seguintes critérios (CONCEPA, 2009):

- CBR da fundação;
- Determinação do número N;
- Constantes relacionados às características resilientes do subleito;
- Valor estrutural da camada betuminosa;

Tabela 2. 4: Fórmulas de referência - espessuras das camadas do pavimento

Equações referentes a projeção da espessura das camadas	
Característica – Espessura (cm)	Fórmula
Equivalente: H_t	$H_t = 77,67 N^{-0,0482} CBR^{-0,598}$
Camada betuminosa – H_{CB}	$H_{CB} = -5,737 + \frac{807,961}{D_p} + 0,972 I_1 + 4,101 I_2$ <p><i>I₁, I₂ = constantes referentes ao índice de resiliência do subleito</i></p>
Camada granular - H_{CG}	$H_{CB} \cdot VE + H_{CG} = H_t \therefore H_{CG} \leq 35 \text{ cm}$
Deflexão -	$\log D = 3,148 - 0,188 \log N$

Fonte: Adaptado de DNER (1996)

Esse método é descrito como um modelo voltado à resiliência, justamente pela necessidade de uma metodologia de análises mecânicas e que calcule a deflexão máxima prevista para uma estrutura com uma determinada vida de fadiga em projeto.

Há nesse método o conceito de valor estrutural da camada betuminosa (revestimento), que é relacionado com o tipo de subleito (fundação), conforme a Figura 2.4, e com o tráfego à que será submetido. Ademais, é posto em consideração o comportamento elástico não-linear dos solos e dos materiais granulares, e o alto nível da qualidade dos solos argilosos com comportamento laterítico, diminuindo assim a espessura das camadas granulares do pavimento (DNER, 1996).

Segundo Rodrigues (1987), o TECNAPAV gera diversas alternativas de estratégias para o recapeamento que satisfazem os critérios econômicos e técnicos definidos em projeto. O Manual de Pavimentação (DNER, 1996) apresenta ainda a relação do tipo de solo em função das faixas de variação do ISC (CBR), conforme o Quadro 2.3.

Quadro 2. 3: Classificação dos solos finos quanto à resiliência.

CBR (%)	S (%)		
	≤ 35	35 a 65	> 65
≥ 10	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>
6 a 9	<i>II</i>	<i>II</i>	<i>III</i>
2 a 5	<i>III</i>	<i>III</i>	<i>III</i>

Fonte: Manual de Pavimentação (DNIT, 2006).

Para determinar o tipo de solo, faz-se necessário estabelecer o valor de $S(\%)$, que depende da curva granulométrica do solo de subleito, cujos percentuais são utilizados na seguinte equação:

$$S = 100\% - \frac{P_1}{P_2} \times 100\% \quad \text{Eq. 2.3}$$

Sendo:

S : % de silte na fração fina que passa na peneira n°200 (0,075mm)

P_1 : % em peso, material com partículas de diâmetro inferior à 0,005mm

P_2 : % em peso, material com partículas de diâmetro inferior à 0,075mm
(P_1 e P_2 determinadas na curva de distribuição granulométrica)

O Manual de Pavimentação do DNER (1996), indica que a resiliência elevada faz com que as deflexões calculadas mediante a utilização da viga Benkelman sejam grandes, ainda que o dimensionamento seja feito por critérios de resistência à ruptura plástica. O método da resiliência atua analisando diversos perfis e por isso se utiliza do auxílio das equações para simplificarem o processo. Para isso, é utilizado um programa conhecido como FEPAVE 2 em projetos fatoriais e estruturas de pavimentos rodoviários. Alguns dos pontos que são considerados no método:

- deflexão na superfície;
- diferenças entre as tensões horizontais (tração) e verticais (compressão) na fibra inferior da camada de revestimento;
- tensão vertical no subleito.

Os solos finos são classificados em 3 tipos, de acordo com a resiliência e com ensaios triaxiais. Esses solos são encontrados no subleito ou em camadas de reforço do subleito (Tabela 2.5).

Tabela 2. 5: Relação do grau de resiliência e característica do solo

Tipo de solo	Definição	Característica
I	Baixo grau de resiliência	Bons resultados quando utilizados como subleito e reforço de subleito, podendo serem utilizados em camadas de sub-base.
II	Grau de resiliência intermediário	Resultados regulares como subleito. Seu uso como reforço de subleito requer estudos e ensaios especiais.
III	Grau de resiliência elevado	Não é aconselhável seu emprego em camadas de pavimentos. Como subleito requerem cuidados e estudos especiais.

Fonte: Adaptado de DNER (1996).

2.2 REVESTIMENTO BETUMINOSO E CAMADAS GRANULARES

A composição de um pavimento flexível é formada por uma camada de revestimento asfáltico superposta acima de outras, construídas de materiais granulares. O revestimento é constituído pela combinação de agregados minerais com ligantes betuminosos. Sobre a sua superfície ocorre o contato com o sistema pneumático dos veículos, para transmissão das cargas e distribuições das tensões, que são suportadas pelas demais camadas inferiores, até o solo de fundação (subleito). Nesse contexto, os parâmetros apresentados nos métodos descritos anteriormente, consideram todos os índices físicos e mecânicos desses tipos de materiais constituintes das camadas de um pavimento flexível. Eles são determinados por ensaios de laboratórios para verificação de valores referenciais das propriedades físicas desses materiais. Isso também implica no atendimento às determinações normativas, impostas pelos métodos de dimensionamento, como por exemplo, o do CBR e TECNAPAV.

Considera-se, então, que a precisão e o grau de confiança estatística nos valores desses parâmetros referenciais podem ser aprimorados, ampliando-se a quantidade de amostras e os testes de laboratórios. Parte-se do pressuposto que, independentemente do grau de precisão aceito pelas normas, esses são parâmetros que estão sob controle do projetista, no processo de dimensionamento de um pavimento flexível.

Consciente que variação do valor do CBR, do tipo de solo e da deflexão são determinantes nas análises paramétricas da resistência dos materiais usados no dimensionamento de pavimentos flexíveis, neste trabalho, considera-se que eles são “estatisticamente confiáveis”, considerando que podem ser testadas diversas vezes em laboratório.

2.3 DETERMINAÇÃO DO NÚMERO N

Pelo Manual de Pavimentação do DNIT (2006), seguindo o método do CBR, a determinação do número N depende de dois fatores principais, ou seja:

- o volume médio diário anual de tráfego de veículos comerciais (VMD_a de ônibus e caminhões) e;
- o peso distribuído por tipo de eixo (simples, tandem duplo e triplo).

Em síntese, trata-se da utilização de um VMD_a projetado no ano horizonte de projeto, distribuídos pelas classificações veiculares comerciais, com a identificação da estimativa de peso em cada tipo de eixo, em cada uma dessas classes.

A determinação do número N dependerá dos critérios adotados para o modelo de projeção de tráfego dos veículos comerciais. Para cada cenário e abordagem matemática, ter-se-á um resultado.

Contudo, a forma como se apropria essas estimativas segundo o percentual de participação de cada classe veicular, em relação ao volume total do tráfego, também influenciará no resultado desse número N .

Combinado com a volumetria, a distribuição dos pesos médios por tipo de eixo e categoria de classe veicular resultará no valor final do número N , conforme as equações Eq. 2.1 e 2.2 registradas anteriormente. Existe, portanto, uma estreita relação entre a distribuição volumétrica pelas classes de veículos comerciais e o peso médio por tipo de eixo dessas classes, devido aos limites de peso por eixo, determinados conforme o Quadro de Fabricantes de Veículos (DNIT, 2023).

Com relação a esse parâmetro, precisamos avaliar a forma e a precisão das estimativas e previsão de volume de tráfego, considerando a sua distribuição classificatória, para em seguida correlacioná-la com o peso médio por tipo de eixo, conforme indicado no Manual de Estudo de Tráfego do DNIT (2006).

2.3.1 ESTIMATIVAS DE PESAGEM VEICULAR

Existem diversas tecnologias de pesagem veicular, que variam na precisão de suas medições e refletem nos custos de aquisição, instalação e operação, sendo o funcionamento deles por leis e normas nacionais e internacionais de aferição.

De acordo com Albano e Lindau (2006), as tecnologias modernas são desenvolvidas para superar as limitações das tecnologias existentes em termos de custo, desempenho e flexibilidade. Isso se aplica aos sistemas de pesagem veicular, tanto para processos estáticos, como dinâmicos (com o veículo em movimento).

Existem três abordagens principais para a pesagem: pesagem estática, onde os veículos são desviados e pesados quando parados, pesagem em baixa velocidade (LS-WIM), onde os veículos são pesados em uma pista de desvio a velocidades até 20 km/h , e pesagem em alta velocidade (HS-WIM), onde a pesagem é realizada na

velocidade de tráfego normal, sem exigir uma pista secundária (Albano e Lindau, 2006).

Considerando as principais tecnologias utilizadas para coleta amostral de dados de pesagem veicular, para fins de estimativa de pesos por eixo, aquelas mais amplamente utilizadas para subsidiar o cálculo do número N, podemos destacar (Albano e Lindau, 2006):

- plataforma com célula de carga;
- placas de flexão, *bending plates*;
- sensores piezoelétricos e;

Sobre esses três tipos de tecnologias, podemos resumir seus funcionamentos da seguinte forma:

Plataforma de célula de carga:

- o sistema de pesagem consiste em duas balanças metálicas alinhadas que operam de forma independente;
- sensores ou barreiras físicas são colocados fora das balanças para garantir que apenas o que está nas células de pesagem seja medido.
- é composto por uma plataforma transversal à pista, onde um laço indutivo detecta a abordagem do veículo.

Placas de flexão – *bending plates*:

- essas placas possuem sensores “*strain gages*” (dispositivos medidores de deformação) na parte inferior, posicionados em um espaço especial no pavimento e;
- quando os eixos dos veículos passam sobre as placas dispostas transversalmente à direção do fluxo, o sistema mede a tensão na superfície da placa e calcula o peso do veículo com base nessa tensão elétrica gerada;
- carga, mede a distância entre eixos e a velocidade;

Sensores piezoelétricos:

- consistem em chapas estreitas ao longo da faixa de rolamento;

- quando uma força é aplicada a esses sensores, eles geram uma voltagem devido a cargas elétricas opostas nas faces do material piezelétrico;
- são instalados transversalmente na pista, com laços indutivos antes e depois deles;
- anterior detecta veículos e avisa sobre a aproximação, enquanto o posterior fornece dados para calcular a velocidade do veículo e a distância entre eixos;
- existem diferentes tipos de sensores piezelétricos, incluindo, *piezoceramic* (piezocerâmica), *piezopolymer* (piezopolímero) e *piezoquartz* (piezoquartzo), sendo essa última a mais recente instalada em cortes no pavimento.

2.3.1.1 ACURÁCIA DOS SISTEMAS DE PESAGEM

Os custos e a precisão dos sistemas de pesagem são fatores essenciais para determinar qual sistema usar. A Tabela 2.6 apresenta uma estimativa da precisão dos diversos sistemas para medição de carga por grupo de eixos e para a medição do peso bruto total.

Tabela 2. 6: Estimativa da precisão de alguns sistemas de medição

Tecnologia de Pesagem	Acurácia na medida de carga por grupo de eixos	Acurácia na medida do peso bruto total
Cabo piezelétrico	12%	10%
Sensor de Quartzo	10%	8%
Bending plate	3%	2%
Células de Carga	2%	1%

Fonte: DNIT (2009).

2.3.1.2 SENSORES DE PESAGEM VEICULAR UTILIZADOS NO PNCT

O Plano Nacional de Contagem de Tráfego – PNCT é uma das principais fontes de dados de pesagem do DNIT. Associado com os laços indutivos de contagem e classificação de tráfego, existem os sensores piezoelétricos. Por meio deles se promove a coleta de informações de pesagem veicular em movimento (alta

velocidade), dos veículos passantes nas seções das rodovias federais, que caracterizam as estações de contagem permanente de tráfego do PNCT.

Segundo Hoffmann (2018) o PNCT adota sensores piezoelétricos para realizar as pesagens em movimento, considerando a possibilidade das seguintes variações estatísticas dos dados coletados, conforme a Tabela 2.7. A Figura 2.6 ilustra um exemplo desse sistema instalado em um segmento de rodovia federal.

Tabela 2. 7: Limites admissíveis para variação dos valores de pesagem: PNCT

Variação Admissível	
Peso Bruto Total - PBT	< ± 15%
Conjunto Eixos	< ± 30%

Fonte: Hoffmann (2017)

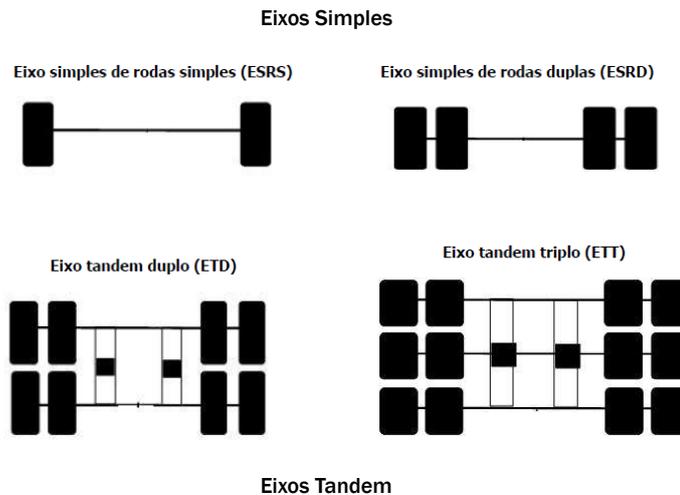
Figura 2. 6: Exemplo de um sistema de contagem/pesagem dinâmica - PNCT



Fonte: Hoffmann (2017)

Considerando que no dimensionamento de pavimentos flexíveis, utiliza-se dados de pesos por conjunto de eixos (simples, tandem duplo e triplo), conforme a Figura 2.7, verifica-se quais são os limites aceitáveis para variações estatísticas de suas medições amostrais, conforme descrito, para pesagem em movimento, isso implica em aceitar um erro admissível de até 30% na leitura dos sensores (cabos) piezolétricos. Para outras tecnologias, aplicadas a pesagem estática, esse erro pode ser reduzido para 2% no uso de células de carga e 12% no caso dos próprios cabos piezoelétricos (ver Tabela 2.6).

Figura 2. 7: Tipos de eixos considerados para apropriação de pesos.



Fonte: Quadro de fabricantes de veículos, DNIT (2023)

2.3.1.3 SENSORES DE PESAGEM UTILIZADOS NO PNDEP

Outra fonte de informação relevante de dados de pesagem veicular do DNIT são aqueles associados com o Plano Nacional Diretor Estratégico de Pesagem (PNDEP).

Por consulta ao site do DNIT verifica-se que em 2007 o PNDEP foi publicado pelo Departamento, como um projeto orientado para implantação de 220 balanças, sendo 148 postos fixos de pesagem de veículos e mais 72 praças para operação com equipamentos móveis.

Para a criação do Plano foram desenvolvidos estudos, pesquisas e projetos abrangendo uma extensa gama de fatores que influenciam na fiscalização de peso. Contudo, desde 2016 não se realizam mais pesagens veiculares em postos fixos do DNIT. Atualmente, operações de controle de peso nas rodovias federais, em trechos sob administração do Departamento, ocorrem por meio de balanças móveis (Unidade Móvel Operacional - UMO). Informações sobre essas unidades podem ser obtidas no endereço: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/rodovias/operacoes-rodoviaras/umo>.

No caso do DNIT, esse é um sistema de balança portátil estática ou dinâmica, no qual o veículo necessita estar parado para pesagem dos seus eixos, ou em movimento com velocidade constante e reduzida. Para coletar dados amostrais de pesagem veicular, necessárias aos projetos de dimensionamento de pavimentos flexíveis, o DNIT conta com as Unidades Móveis Operacionais Estáticas (UMO-E) ou Dinâmicas (UMO-D). Vale ressaltar que para nenhum dos sistemas de pesagem

descritos (PNCT e PNDEP) incluindo as UMO-E, existem dados de pesagem (brutos ou tratados) disponibilizados pelo DNIT para consulta via web. A Figura 2.8 ilustra uma UMO-E do DNIT em operação.

Figura 2. 8: Exemplo de operação de uma UMO-E do DNIT



Fonte: Extraído da consulta a: <https://newroads.com.br/dnit-retoma-servico-de-fiscalizacao-de-peso-de-veiculos-de-carga-na-br-135-no-ma/>

Considerando que o foco de análise deste trabalho é o método de dimensionamento de tráfego, estabelecido pelo Manual de Pavimentação do DNIT (2006), pode-se concluir que em âmbito federal, os projetos de pavimentação contam, basicamente, com duas formas de detecção de amostras de pesos veiculares.

A primeira são aquelas obtidas pelas unidades móveis, que utilizam células de carga. A segunda com os laços piezoelétricos do PNCT, na pesagem dinâmica. Com isso, podemos deduzir que, os valores da pesagem por tipo de eixo possuem acurácia de até 2% (quando obtidos pelas unidades móveis) a 30% (se a sua fonte for o PNCT). Isso delimita a faixa de variação da imprecisão estatística que podemos aplicar na análise paramétrica do cálculo do número N. Com isso definido, devemos estabelecer os parâmetros de tráfego que se correlacionam com esses de peso.

2.3.2 ESTIMATIVAS DE VOLUME CLASSIFICADO DE TRÁFEGO

Para se estabelecer uma estimativa classificada do tráfego de uma rodovia, precisamos considerar duas situações básicas: o tráfego atual (ano base) e a projeção do tráfego em horizonte de projeto (período futuro que corresponde à vida útil da rodovia). Os padrões de variação da volumetria de tráfego devem ser considerados em períodos distintos, pois o dimensionamento de uma rodovia depende, para determinar a sua capacidade, da volumetria horária, e para dimensionar as

espessuras das suas camadas estruturais, do volume médio diária anual, considerando o ano final do horizonte de projeto.

Considerando que em regra, os dados de volumetria de tráfego são amostrais, para os trechos de projetos de rodovias, faz-se necessário transformá-los em valores anualizados, por meio de ajustes sazonais, que corrigem as variações periódicas desse volume, em relação ao volume médio diário anual de referência para o dimensionamento. Para isso, existem dois parâmetros volumétricos relevantes: o volume horário e o diário.

2.3.2.1 VOLUMETRIA HORÁRIA E DIÁRIA DO TRÁFEGO

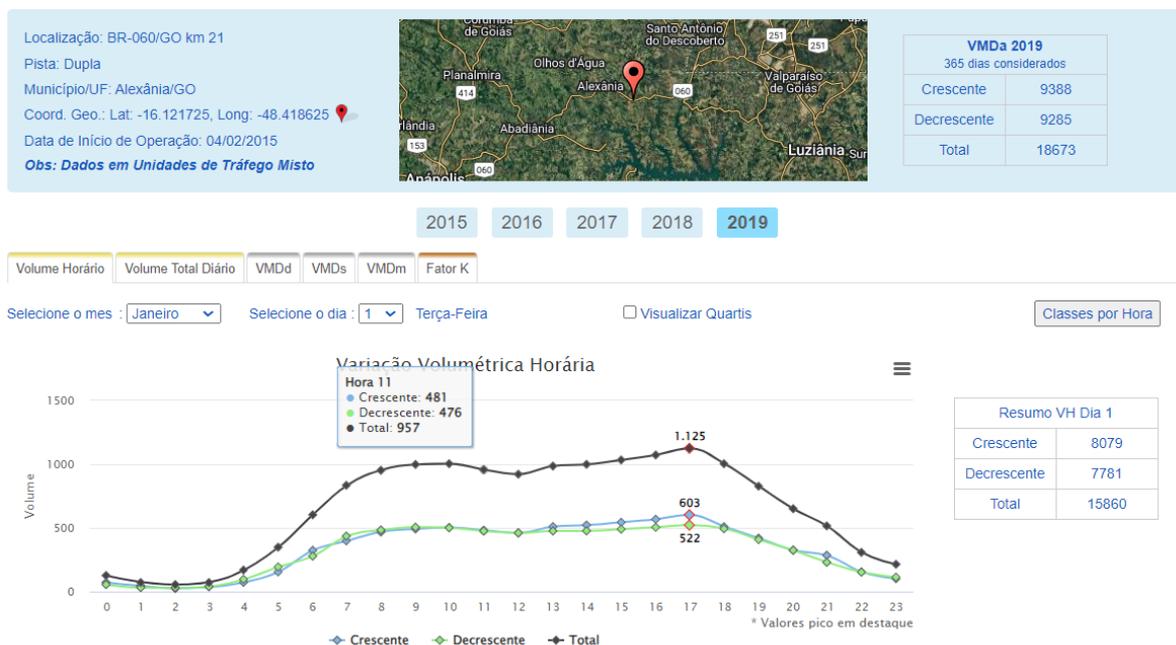
O volume de tráfego é definido como o número de veículos que passam por uma seção de uma via durante um determinado período, conforme estabelecido em textos normativos e manuais técnicos de engenharia rodoviária, cita-se o Manual de Estudo de Tráfego do DNIT (2006). A unidade de medição principal para volume de tráfego é veículos por hora (vph). A quantidade de veículos por dia se obtém pela soma das quantidades de veículos por hora, para as 24 horas de um dia (vpd). Uma notação para identificar o volume horário de tráfego é: **VH**. O volume diário de tráfego possui notação igual a: **VD**.

Para avaliar as variações no fluxo de tráfego ao longo de um dia, utiliza-se o conceito de "Volume Horário" (**VH**), que representa o número total de veículos que trafegam em uma hora específica, medido em veículos por hora (vph).

A Figura 2.9 ilustra a variação do tráfego horário, obtido das contagens contínuas do Plano Nacional de Contagem de Tráfego – PNCT, correspondente à variação horária em uma terça-feira, dia 1 de janeiro de 2019. As identificações "C" e "D" estão relacionadas, respectivamente, com os sentidos de tráfego "Crescente" e "Decrescente" da rodovia, o que implica em observar o aumento ou diminuição da quilometragem identificada pela sinalização às suas margens.

A ilustração dessa figura também nos indica a localização geográfica do posto de pesquisa usado como exemplo. Além disso, podemos verificar a sua volumetria média diária na data em questão. Essa volumetria é classificada e medida em Unidade de Tráfego Misto (utm).

Figura 2. 9: Volume Horário (VH) - contagem contínua - km 21 da BR060/GO.



Fonte: Extraído da consulta a:

<https://servicos.dnit.gov.br/dadospnct/ContagemContinua>

2.3.2.2 VOLUMETRIA MÉDIA DIÁRIA E FATORES DE SAZONALIDADE

Segundo o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006), uma unidade relevante para medidas da quantidade de veículos por dia é o: Volume Médio Diário (*VMD*). Para essa medida, tem-se:

1. **Volume Médio Diário (*VMD*)** é a média dos volumes de veículos que circulam durante 24 horas em um trecho de via. Ele é computado para um período representativo.
2. São de uso corrente os seguintes conceitos de volume médio diário:
 - **Volume Médio Diário Anual (VMD_a)**: número total de veículos trafegando em um ano dividido por 365.
 - **Volume Médio Diário Mensal (VMD_m)**: número total de veículos trafegando em um mês dividido pelo número de dias do mês. É sempre acompanhado pelo nome do mês a que se refere.

- **Volume Médio Diário Semanal** (VMD_s): número total de veículos trafegando em uma semana dividido por 7. É sempre acompanhado pelo nome do mês a que se refere. É utilizado como uma amostra do VMD_m .

Para todas essas médias listadas a unidade é o (vpd). A mais relevante entre elas é o VMD_a . As demais são geralmente utilizadas como amostras a serem ajustas e expandidas para determinação do VMD_a . No caso em análise, entenda-se “**expandir uma amostra**”, o fato de se utilizar **fatores de sazonalidade** para se ajustar um VMD_m ou VMD_s para se estimar o valor de um VMD_a . A equação geral da sazonalidade é dada por:

$$f_s = \frac{VMD}{VMD_a} \quad \text{Eq. 2.4}$$

Sendo:

f_s : fator de ajuste de variação sazonal do tráfego em relação a média anual;

VMD : volume médio diário do dia, semana ou mês.

2.3.2.3 CLASSIFICAÇÃO VEICULAR

Os parâmetros volumétricos descritos anteriormente podem ser determinados para volumes totais do tráfego, ou distribuído pelas classes ou categorias (grupos de classes) do veículo que os compõe. Para isso, faz-se necessário que as pesquisas volumétricas de tráfego sejam planejadas para considerar a contagem veicular por identificação dos tipos de veículos. Isso implica em estabelecê-los, considerando os limites impostos pelo método e a tecnologia empregada na pesquisa de tráfego. A escolha do método de pesquisa implica em técnicas e meios específicos que devem ser utilizados em campo, para realizar as contagens veiculares, impondo-se, portanto, limites à quantidade de classes que podem ser identificadas nesse processo.

O PNCT apresenta uma classificação estabelecida conforme o Quadro de Fabricantes de Veículos, emitido pela Secretaria Nacional de Trânsito. Exemplos dessas classes veiculares estão ilustradas nas Figura I.3 e I.4 do Anexo I.

2.3.3 MÉTODOS DE PESQUISA DE TRÁFEGO

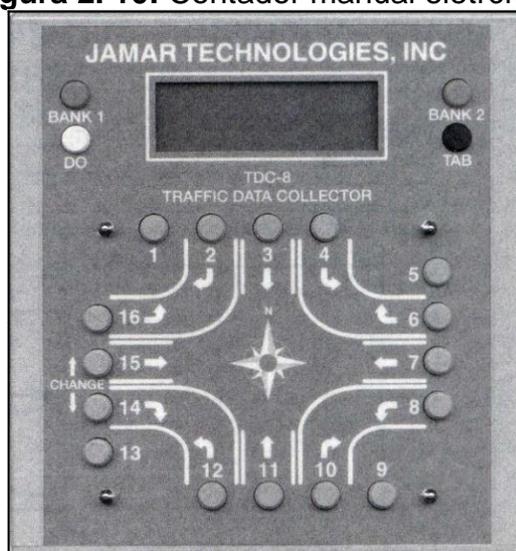
Segundo o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006), os procedimentos para obtenção de dados referentes ao tráfego são feitos através de entrevistas ou observação direta., a isso chamamos de pesquisa de tráfego.

As entrevistas consistem em perguntas orais ou escritas aos usuários e as respostas são analisadas mediante padrões previamente estabelecidos. Já as pesquisas e as técnicas de levantamento de dados de tráfego são feitas através de contagens volumétricas, que se subdivide em: contagens manuais e contagens automáticas.

As contagens manuais são feitas com o auxílio de pessoas envolvidas naquela pesquisa, utilizando de fichas e contadores manuais. São de extrema relevância para a classificação de veículos, análise de movimentações em interseções e contagens em rodovias com mais de quatro faixas. Para contagens em vias urbanas é comum adotar um critério de grupamento de veículos com base em características semelhantes de operação (automóveis, ônibus e caminhões). O processo normal de coleta consiste em utilizar contadores manuais mecânicos presos em uma prancheta, na qual está também a ficha para transcrição dos dados. Essas fichas são separadas em ficha I e II, conforme as Figuras I.1 e I.2 do Anexo I.

Contudo, há também a possibilidade de utilizar contadores manuais eletrônicos (Figura 2.10) que registram em sua memória interna os resultados de uma determinada pesquisa, transferindo-os para um computador ou por linhas telefônicas.

Figura 2. 10: Contador manual eletrônico



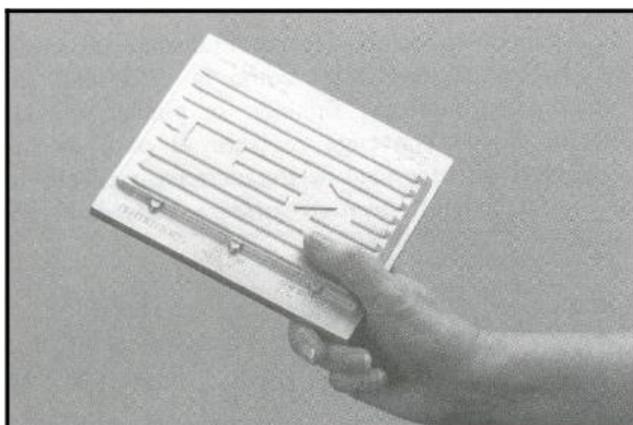
Fonte: Manual de Estudo de Tráfego, DNIT (2006).

As contagens automáticas são feitas por aparelhagens diversas. Nela consiste na detecção de veículos através de tubos pneumáticos ou dispositivos magnéticos, sonoros, radar, células fotoelétricas e ademais. Apresentam a desvantagem do alto elevado e de sua facilidade a possíveis roubos ou vandalismo. Contudo, com os avanços tecnológicos, seu constante aperfeiçoamento tem reduzido gradativamente seus custos e tamanhos, tornando assim cada vez mais fácil ocultar os equipamentos. Os contadores automáticos têm dois componentes básicos: uma unidade captadora para detectar a passagem dos veículos e uma unidade acumuladora de dados. Os mesmos podem ser portáteis ou permanentes, dependendo de sua finalidade.

Contadores automáticos portáteis: Os contadores portáteis mais utilizados usam tubos pneumáticos que, estendidos em seção transversal ao pavimento, registram a passagem de eixos subsequentes, possibilitando determinar as quantidades de eixos que passam em um período qualquer. Alguns tipos registram a passagem de um veículo para cada segundo eixo que passa, o que é uma simplificação exacerbada. Com isso, não permitem classificar os veículos por categoria, exigindo que se façam contagens manuais complementares para esse fim. Somente após a classificação feita podem então ser obtidos os números de veículos.

Um exemplo de contador automático portátil é do tipo Marksman 400, que utilizam de tubos pneumáticos, mas permitem determinar diretamente: tipo de veículo, velocidade, comprimento e número de eixos por veículo. Um outro tipo de contador portátil, descrito na Figura 8, é o "Hi-Star", com sensor magnético, que permite detectar a passagem dos veículos e não de seus eixos. As unidades captadora e acumuladora são incluídas em uma placa muito pequena que se fixa no pavimento.

Figura 2. 11: Contador portátil automático "Hi-Star".



Fonte: DNIT (2006).

Contadores automáticos permanentes: São aqueles dispostos em locais específicos para efetuar contagens contínuas, de longa duração. Os dados levantados nesses postos são normalmente parte de um programa de estudo das características e tendências do tráfego de uma determinada área (município, estado, região, etc.). As unidades agregadas são as mesmas utilizadas em contadores automáticos portáteis. A captação, entretanto, costuma ser feita por sensores de mais equilibrados. Entre os mais utilizados atualmente, pode-se citar os indutores em “loop”, que são instalados de forma permanente no pavimento.

2.3.4 MODELOS DE PROJEÇÃO DE TRÁFEGO

Os estudos de tráfego têm como objetivo coletar dados sobre os elementos fundamentais desse parâmetro, que podem envolver informações sobre: motoristas, pedestres, veículos, vias e o ambiente socioeconômico onde se dá os movimentos pesquisados. Esses estudos fornecem informações sobre o número de veículos que circulam em uma via, suas velocidades, padrões volumétricos de variação temporal, polos geradores de tráfego, acidentes e muito mais. Eles permitem avaliar a capacidade das vias e determinar as melhorias necessárias, e contribuir para calcular o número N , necessário para o dimensionamento dos pavimentos.

Como a projeção de tráfego é o processo de estimar o volume futuro de veículos em uma rodovia ou sistema de transporte, isso também envolve a análise de dados históricos, tais como fatores como crescimento populacional e econômico, mudanças nas condições da estrada e tendências de crescimento da taxa de tráfego.

A principal metodologia de estimativa de tráfego é dada pelo Modelo de Quatro Etapas, consagrado mundialmente, e recomendado pelo Manual de Estudo de Tráfego do DNIT, na sua página 211. Contudo, o Manual de pavimentação do DNIT indica que para fins de dimensionamento, pode-se optar por uma entre duas equações de projeção de tráfego, cujas exigências de uso são os valores do VMD_{α} distribuído pelas categorias de classes de veículos comerciais, as taxas médias de projeções e o período de projeto em anos. Essas equações são de natureza “linear” e “não linear”, dada pelas, respectivamente, pelas seguintes igualdades:

Linear

$$V_m = \frac{V_1[2 + (P - 1)t/100]}{2} \quad \text{Eq. 2.5}$$

$$V_t = 365 \times P \times V_m \quad \text{Eq. 2.6}$$

Não Linear

$$V_t = \frac{365V_1[(1 + t/100)^P - 1]}{t/100} \quad \text{Eq. 2.7}$$

Sendo:

V_t : volume total de tráfego para o período P , em um sentido de tráfego;

V_1 : VMD_a do ano de abertura, para um sentido de tráfego;

V_m : média do VMD_a no período de P anos, para um sentido de tráfego;

P : período de projeto em anos.

Essas são as equações utilizadas para fins de simulações e testes paramétricos deste trabalho. Considerando que a volumetria pode ser projetada para o total das faixas de rolamento, mas para projeção e cálculo do número N se dá somente pela faixa de maior volume, pode ser necessário ajustar esse resultado pelo fator direcional, que é dado pela seguinte igualdade, sendo C o sentido “Crescente” e D o “Decrescente” em relação a marcação da quilometragem na rodovia.

$$f_d(\text{sentido}) = \frac{VMD(\text{sentido})}{VMD(\text{total})} \quad \text{Eq. 2.8}$$

3 METODOLOGIA

3.1 CRITÉRIOS

A proposta deste trabalho é analisar o quão “sensível” são os dois principais métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis, utilizando-se para isso uma abordagem paramétrica. Isso implica em definir essas variáveis e fazer cada uma delas variar enquanto as demais se mantêm fixas, inalteradas. Essas variações seguem os critérios observados para cada um dos três principais parâmetros de dimensionamento, ou seja: volume médio diário de tráfego de categorias de veículos comerciais, peso médio por tipo de eixo e Índice de Suporte Califórnia, ISC (ou CBR).

Por exemplo, a variação do peso se dá nos limites admissíveis para os tipos de tecnologias de pesagem mais empregadas pelo DNIT, ou seja: células de cargas e cabo piezoelétrico (ver Tabela 8). O volume de tráfego em função do que se observa de valores mínimos e máximos, na estação de contagem contínua adotada como referência para o trecho de projeto.

O CBR do subleito (solo de fundação) varia no intervalo de $2\% \leq CBR \leq 8\%$ que garante, com segurança, valores observados para os solos lateríticos e saprolíticos, que constituem grande parte do subsolo do território brasileiro. Trata-se aqui o CBR dos solos de subleito em condições naturais do terreno, não sendo o mesmo substituído por outro material estabilizado granulometricamente por aditivos, situação que eleva consideravelmente a sua resistência mecânica. Entende-se que essa função fica a cargo da camada de reforço do subleito, que para fins deste trabalho, será considerada com um CBR superior ao do subleito, variando na ordem aproximada de 130% a 250%. Isso implica, por exemplo, que para um subleito com CBR de 2% o reforço do subleito será de 5%. Essa diferença percentual será reduzida gradualmente, quanto maior for o valor do CBR do subleito, no intervalo proposto para simulação.

Os métodos testados são aqueles preconizados no Manual de Pavimentação do DNIT (2026), geralmente denominados de método do CBR e TECNAPAV, respectivamente de natureza empírica e empírica-mecanística. Para testá-los, propõem-se um Estudo de Caso, pela definição de um trecho de rodovia pertencente ao Sistema Federal de Viação (SNV), que possua dados da Pesquisa Nacional de Tráfego (PNT), disponíveis no site do DNIT.

A definição desse trecho real de rodovia, deve considerar a sua identificação geográfica e extensão, além da proximidade com a estação de referência. Os critérios que norteiam a metodologia proposta são definidos assim:

- 1) limites de variação dos valores de peso por tipo de eixo e volume médio diário anual do tráfego nas categorias de classes de veículos comerciais;
- 2) uso dos métodos de dimensionamento consagrados e preconizados pelo Manual de Estudo de Tráfego do DNIT (2006);
- 3) utilização da função de projeção linear de tráfego para um período de projeto de $P = 10$ anos, conforme tempo mínimo exigido no manual citado;
- 4) cálculo do volume médio diário anual de tráfego projetado nesse período, somente para veículos comerciais, categorizados nos grupos de classes veiculares, conforme indicado no Manual de Estudo de Tráfego do DNIT (2006);
- 5) seleção do segmento de rodovia federal pertencente ao SNV, para caracterizar o trecho de projeto de dimensionamento de pavimento flexível;
- 6) segmento selecionado com dados disponíveis da PNT de 2016 ou 2017 (curto período) e;
- 7) trecho de projeto em rodovia com dados referenciais de tráfego do PNCT (estação de contagem contínua) e;
- 8) dados referenciais do PNCT no mesmo segmento do trecho de projeto, ou então, adjacente.

Os critérios de simulação da análise paramétrica compõem a seguinte abordagem:

- 1) volume médio diário anual de tráfego do ano base limitado à 2019, se disponível na estação de contagem contínua do PNCT, adotada como referencial (evitar dados no período da pandemia, devido as mudanças dos padrões de sazonalidade das viagens);
- 2) estabelecido o ano base, projetar em 10 anos, por função linear, o volume médio diário anual dos veículos comerciais, considerando taxas

anuais de crescimento desse volume, diferenciadas para categorias de ônibus e caminhões;

- 3) esse critério serve para fatores adicionais do volume projetado no período de projeto, devido ao tráfego desviado e à demanda reprimida, que passam a utilizar a via depois das melhorias promovidas pelo projeto de pavimentação;
- 4) para o trecho de projeto, após estimar a volumetria média diária anual de veículos comerciais para o ano base, adotar o sentido de maior volume para fins dos testes paramétricos;
- 5) apropriação do peso médio por tipo de eixo seguir o padrão indicado pelo Manual de Estudo de Tráfego do DNIT (2006);
- 6) fator climático regional limitado à 20% para caracterizar regime de chuvas intensas em região tropical e;
- 7) definir CBR do subleito para classificá-lo como do Tipo III pelo método da resiliência (TECNAPAV).

Os elementos descritos são utilizados no trecho de projeto, que caracteriza um Estudo de Caso de dimensionamento de pavimento flexível.

3.2 TRECHO DE PROJETO E REGRAS DE SIMULAÇÃO

Seguindo os critérios estabelecidos, o segmento selecionado para caracterizar o trecho de projeto foi definido na BR-393/RJ (rodovia Lúcio Meira), no segmento ilustrado pela Figura 3.1, que possui dados de contagem de curto período da PNT, executada em 2017, na seção definida pelo 135 km. O segmento selecionado do SVN possui a seguinte codificação (Quadro 3.1):

Quadro 3. 1: Segmento de rodovia selecionado para trecho de projeto.

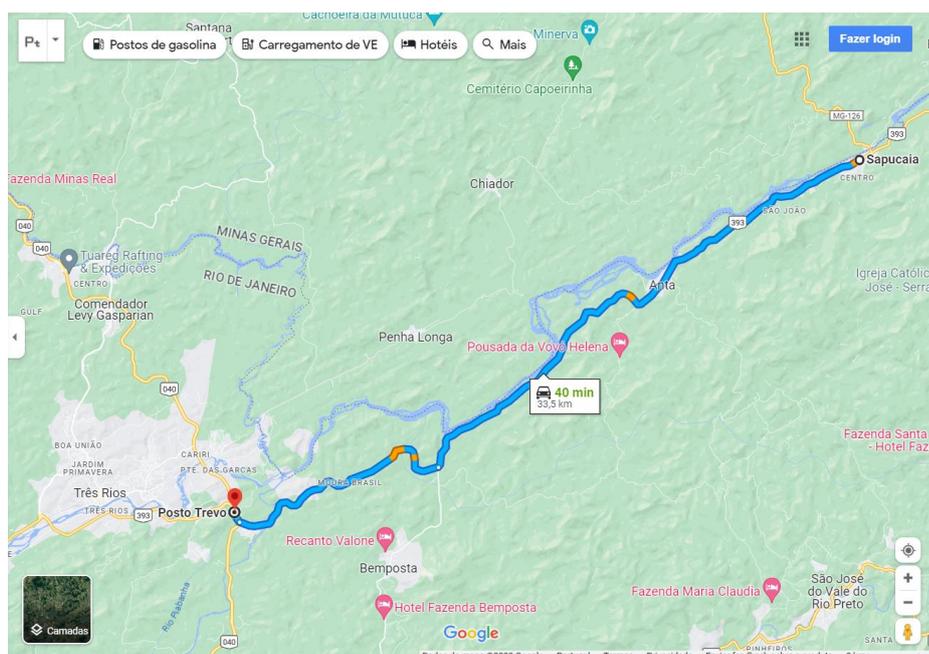
BR	UF	Tipo Trecho	Código	Local de Início	Local de Fim	km inicial	km final	Ext.	Superfície Federal
393	RJ	Eixo Principal	393BRJ0330	SAPUCAIA	ENTR BR-040(A)	135,5	168,9	33,4	PAV

Fonte: Do próprio autor (2023)

Utiliza-se a estação de contagem contínua de referência, aquela definida nessa mesma rodovia, instalada na seção de marco 158 km, no mesmo segmento do SNV

do trecho de projeto (Quadro 3.1). Devido à não disponibilidade de acesso e consulta aos dados de pesagem veicular do DNIT, adota-se as informações apresentadas na Tabela 45, da página 248, do seu Manual de Estudo de Tráfego (2006). Isso também vale para a categorização das classes de veículos comerciais, que seguem o estabelecido nesta tabela.

Figura 3. 1: Ilustração da rota entre o início e fim do trecho de projeto.



Fonte: Imagem gerada por meio do Google Maps (2023).

Quanto às regras de simulação dos parâmetros:

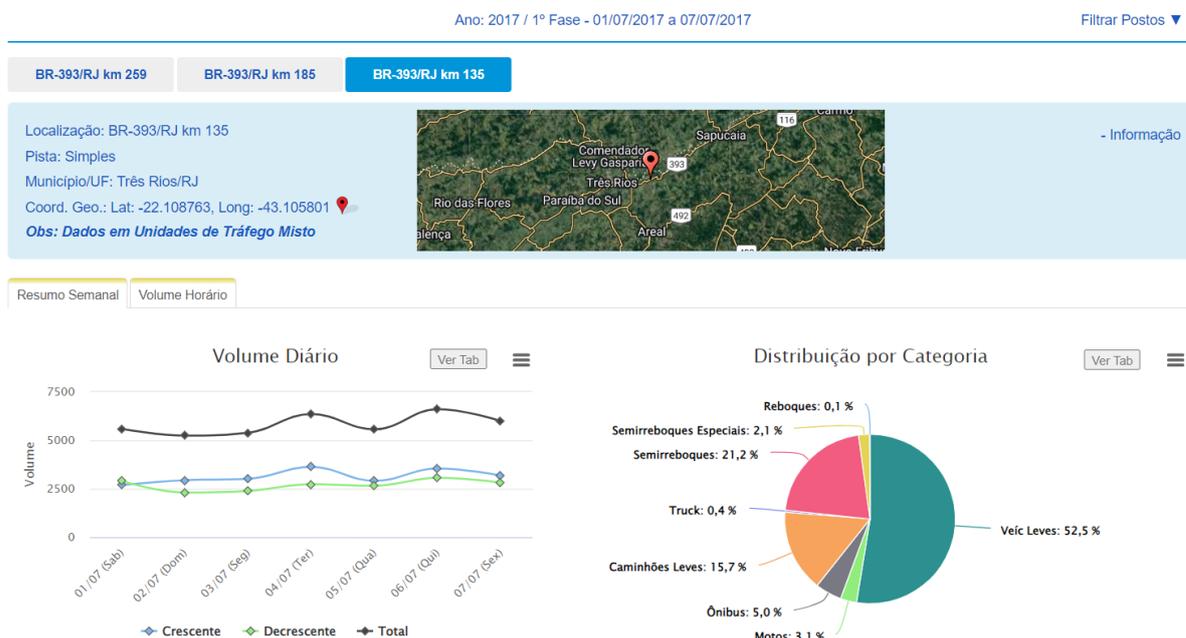
1. variar a volumetria dos veículos comerciais de cargas, para caminhões com cinco ou mais eixos, de classes especiais (semirreboque e combinados), em percentuais não significativos em relação ao volume total, transferindo essa diferença para classes de caminhões de três a cinco eixos, mantendo-se o volume total inalterado;
2. testar os limites inferior e superior de variação percentual dos pesos por tipo de eixo, considerando os erros percentuais admissíveis para os tipos de pesagem praticados pelo DNIT;
3. variar o CBR do subleito até o limite inferior da classe de solo Tipo III e no máximo, até o limite superior, da classe de solo Tipo II (método da resiliência).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ESTIMATIVA DE TRÁFEGO DO TRECHO DE PROJETO

Conforme definido na metodologia a proposta de verificação das questões que norteiam esse trabalho devem ser verificadas em um Estudo de Caso, concebido em um trecho real de rodovia brasileira, sob administração e/ou regulação federal, vinculada aos dados do PNCT disponibilizados pelo DNIT. Assim, sendo, na sequência, desenvolve-se as etapas necessárias para utilização deles, resultando na estimativa de volumetria média diária anual, para o ano de 2019, a partir do qual se projeta o tráfego por 10 anos, segundo os modelos matemáticos preconizados no Manual de Pavimentação do DNIT (2006), chegando-se com isso ao que é necessário para calcular o número N. A Figura 4.1 ilustra os dados do posto de pesquisa de contagem volumétrica e classificatória, realizado no ano de 2017. Essa é a informação amostral disponível para o trecho escolhido para ser o de projeto.

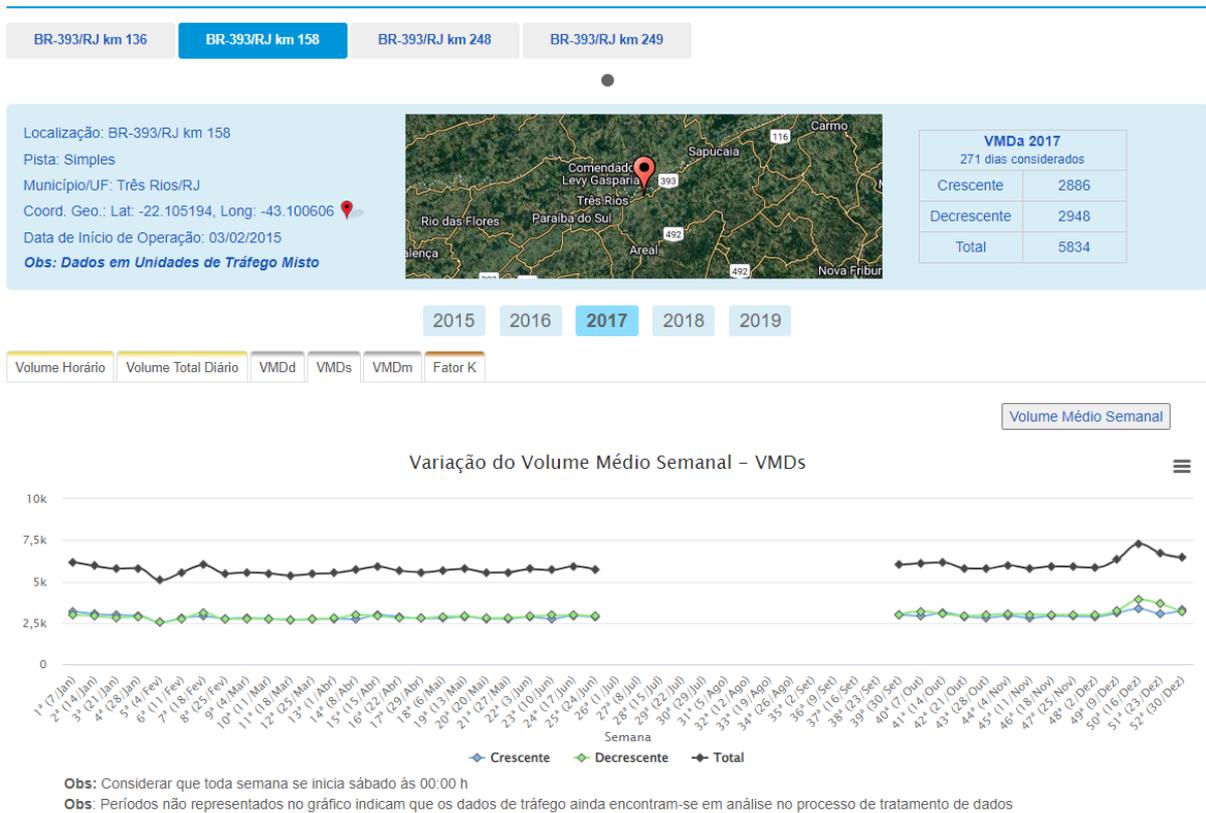
Figura 4. 1: Posto de contagem de tráfego de curto período – trecho de projeto.



Fonte: Extraído de: <https://servicos.dnit.gov.br/dadospnct/Pnt>.

A partir desse trecho foram executadas as estimativas de volumetria média diária anual para o tráfego de veículo comercial, considerando como estação de contagem contínua, de referência, aquela cujos dados de tráfego estão ilustrados pela Figura 4.2.

Figura 4. 2: Estação de contagem de tráfego contínua – dados de referência, 2017.



Fonte: Extraído de: <https://servicos.dnit.gov.br/dadospnt/ContagemContinua>.

Independente de ausência de dados na estação de referência, ela possui informações suficientes em três anos consecutivos (2017, 2018 e 2019) que são satisfatórios às análises deste trabalho.

Assim, seguem os passos identificados, que levam ao cálculo da volumetria média diária anual do trecho de projeto e do número N.

Fator Direcional

Como não existe o dado da semana de pesquisa nas contagens contínuas, utiliza-se aqueles da PNT de 2017:

$$VMD_s(C)_{2017} = 3.127 \text{ vpd}$$

$$VMD_s(D)_{2017} = 2.691 \text{ vpd}$$

$$VMD_s(Tot)_{2017} = 5.818 \text{ vpd}$$

$$f_a(C)_{2017} = (3.127 / 5.818) \times 100\% \cong 53,75\%$$

$$f_a(D)_{2017} = (2.691 / 5.818) \times 100\% \cong 46,25\%$$

$$f_d(C/D)_{2017} = 53,75/46,25$$

Figura 4. 3: Estação de contagem de tráfego contínua – dados de referência, 2018.



Fonte: Extraído de: <https://servicos.dnit.gov.br/dadospnt/ContagemContinua>

Utilizando a volumetria média diária semanal, ilustrada na Figura 4.3, referente à semana da PNT 2018:

$$VMD_s(C)_{2018} = 2.895 \text{ vpd}$$

$$VMD_s(D)_{2018} = 3.059 \text{ vpd}$$

$$VMD_s(Tot)_{2018} = 5.954 \text{ vpd}$$

$$f_d(C)_{2019} = (2.895 / 5.954) \times 100\% \cong 48,62\%$$

$$f_d(D)_{2019} = (3.059 / 5.954) \times 100\% \cong 51,38\%$$

$$f_d(C/D)_{2018} = 48,62/51,38$$

Utilizando a volumetria média diária semanal na Figura 4.4:

$$VMD_s(C)_{2019} = 2.900 \text{ vpd}$$

$$VMD_s(D)_{2019} = 3.005 \text{ vpd}$$

$$VMD_s(Tot)_{2019} = 5.905 \text{ vpd}$$

$$f_d(C)_{2019} = (2.900 / 5.936) \times 100\% \cong 49,11\%$$

$$f_d(D)_{2019} = (3.005 / 5.936) \times 100\% \cong 50,89\%$$

$$f_d(C/D)_{2019} = 49,11/50,89$$

Calculando-se a média para esses três anos:

$$f_d(C)_{méd} = \frac{53,75 + 48,62 + 49,11}{3} = 50,49\%$$

$$f_d(D)_{méd} = \frac{46,25 + 51,38 + 50,89}{3} = 49,51\%$$

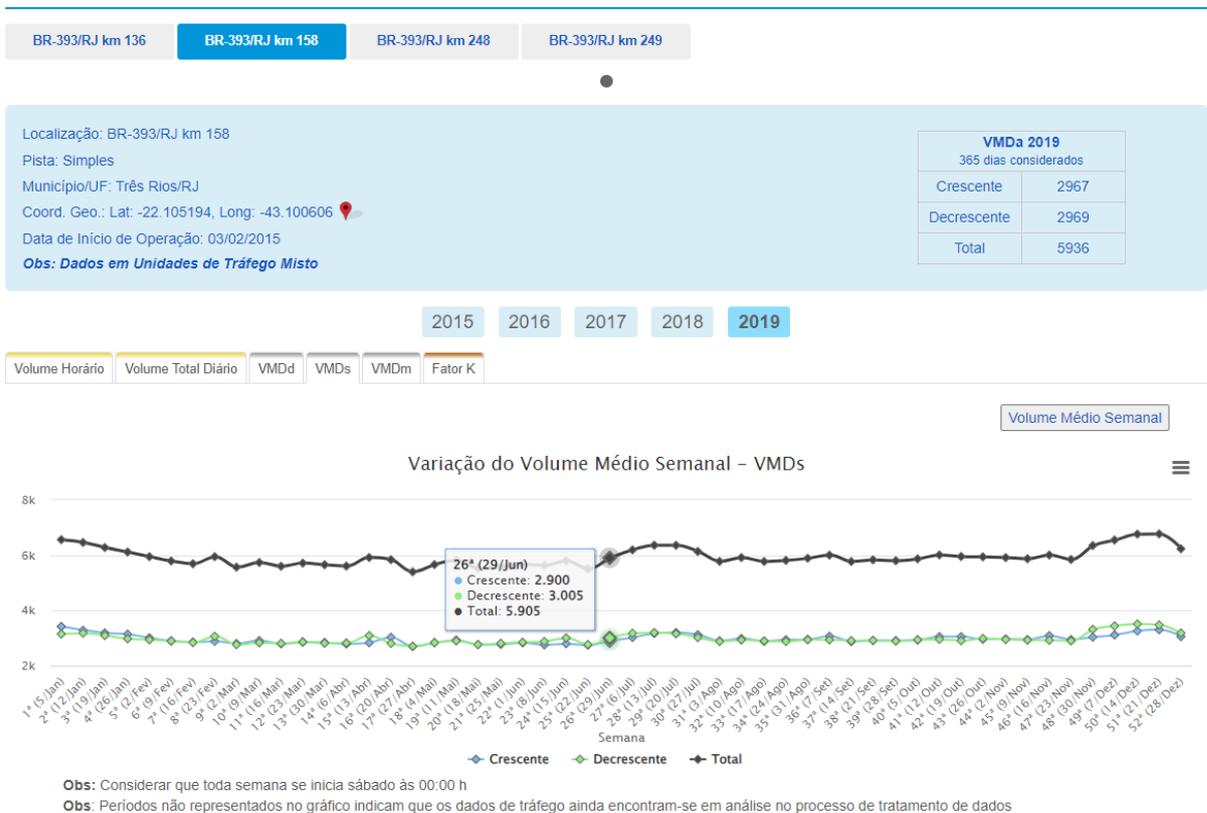
Trabalhando com valores arredondados, adota-se:

$$f_d(C) = 50,5\%$$

$$f_d(D) = 49,5\%$$

$$f_d(C/D) = 50,5/49,5$$

Figura 4. 4: Estação de contagem de tráfego contínua – dados de referência, 2019.



Fonte: Extraído de: <https://servicos.dnit.gov.br/dadospnct/ContagemContinua>

Tem-se, com esses valores direcionais, o fator percentual de cada direção, que pode ser aplicado, escolhida aquela que será utilizada para o estudo das hipóteses deste trabalho (ver Quadro 4.1).

Fator de Sazonalidade Direcional

O fator de ajuste sazonal pode ser aplicado por direção. Neste caso, tem-se da pesquisa de curto período, utilizada para determinar o tráfego da rodovia, o volume médio diário semanal, VMD_s . Neste caso, a equação que nos fornece o fator de correção sazonal é dada por:

$$FS_S = \frac{VMD_a}{VMD_s}$$

As informações disponíveis da estação de contagem contínua do PNCT utilizada como referencial, permite avaliar esse fator para o ano de 2017, 2018 e 2019, conforme o Quadro 4.1. O cálculo do volume médio diário anual, com ajuste sazonal, para o ano de 2017 é dado então por:

$$VMD_a = FS_S \times VMD_s$$

$$VMD_a(C)_{2017} = FS_S(C) \times VMD_s(C)_{2017}$$

$$VMD_a(C)_{2017} = 0,9883 \times 3.127 = 3090,4141 \text{ vpd}$$

Trabalhando com valores inteiros e positivos, adotar:

$$VMD_a(C)_{2017} = 3.090 \text{ vpd}$$

Executando para o sentido Decrescente:

$$VMD_a(D)_{2017} = FS_S(D) \times VMD_s(D)_{2017}$$

$$VMD_a(D)_{2017} = 1,0237 \times 2.691 = 2.754,7767 \text{ vpd}$$

Como antes:

$$VMD_a(D)_{2017} = 2.755 \text{ vpd}$$

Quadro 4. 1: Cálculo do fator de sazonalidade para estimativa de VMD_a .

Sentido	Volume Médio Diário Anual	Volume Médio Diário Semanal
Crescente	$VMD_a(C)_{2017} = 2.886 \text{ vpd}$	$VMD_s(C)_{2017} = 3.127 \text{ vpd}$
	$VMD_a(C)_{2018} = 2.951 \text{ vpd}$	$VMD_s(C)_{2018} = 2.895 \text{ vpd}$
	$VMD_a(C)_{2019} = 2.967 \text{ vpd}$	$VMD_s(C)_{2019} = 2.900 \text{ vpd}$
	$FS_s(C)_{2017} = \frac{2.886}{3.127} \cong 0,923$	
	$FS_s(C)_{2018} = \frac{2.951}{2.895} \cong 1,019$	
	$FS_s(C)_{2019} = \frac{2.967}{2.900} \cong 1,023$	
	$FS_s(C)_{méd} = \frac{0,923 + 1,019 + 1,023}{3} = 0,988333$	
	Fator de Ajuste Sazonal Adotado	$FS_s(C) = 0,9883$
Decrescente	$VMD_a(D)_{2017} = 2.948 \text{ vpd}$	$VMD_s(D)_{2017} = 2.691 \text{ vpd}$
	$VMD_a(D)_{2018} = 3.018 \text{ vpd}$	$VMD_s(D)_{2018} = 3.059 \text{ vpd}$
	$VMD_a(D)_{2019} = 2.969 \text{ vpd}$	$VMD_s(D)_{2019} = 3.005 \text{ vpd}$
	$FS_s(D)_{2017} = \frac{2.948}{2.691} \cong 1,096$	
	$FS_s(D)_{2018} = \frac{3.018}{3.059} \cong 0,987$	
	$FS_s(D)_{2019} = \frac{2.969}{3.005} \cong 0,988$	
	$FS_s(D)_{méd} = \frac{1,096 + 0,987 + 0,988}{3} = 1,023667$	
	Fator de Ajuste Sazonal Adotado	$FS_s(D) = 1,0237$

Quadro 4. 2: Cálculo do fator de direcional e do VMD_a por sentido.

Fator Direcional		$f_a(C/D) = 50,5/49,5$
Crescente	Volume Médio Diário Anual (2017)	$VMD_a(C)_{2017} = 3.090 \text{ vph}$

Decrescente		$VMD_a(D)_{2017} = 2.755 \text{ vph}$
--------------------	--	---------------------------------------

Taxa de Crescimento – Ano Base

Os resultados do VMD_a de 2017, para o trecho de projeto, também está registrado no Quadro 4.2. No trecho de projeto, para ajustar a volumetria média diária anual de 2017 ao ano base, considerado como sendo 2019 aquele de referência (última informação) devemos estabelecer um ajuste de correção por taxa de crescimento. Sobre isso, temos que: Os valores de referência estão registrados no Quadro 4.1, o que permite calcular as taxas anuais de crescimento do tráfego:

$$t_{x(ano2-ano1)} = \left(\frac{VMD_a(ano2) - VMD_a(ano1)}{VMD_a(ano1)} \right) \times 100\%$$

$$t_{x(18-17)}(C) = \left(\frac{VMD_a(C)_{2018} - VMD_a(C)_{2017}}{VMD_a(C)_{2017}} \right) \times 100\%$$

$$t_{x(18-17)}(C) = \left(\frac{2.951 - 2.886}{2.886} \right) \times 100\% = 2,2522522522\%$$

$$t_{x(19-18)}(C) = \left(\frac{VMD_a(C)_{2019} - VMD_a(C)_{2018}}{VMD_a(C)_{2018}} \right) \times 100\%$$

$$t_{x(19-18)}(C) = \left(\frac{2.967 - 2.951}{2.951} \right) \times 100\% = 0,5421890884\%$$

$$t_{x(19-18)}(C)_{méd} = \frac{2,2522522522\% + 0,5421890884\%}{2} = 1,3972206703\%$$

$$t_{x(19-18)}(C) \cong 1,40\%$$

Seguindo o mesmo procedimento:

$$t_{x(18-17)}(D) = \left(\frac{3.018 - 2.948}{2.948} \right) \times 100\% = 2,3744911805\%$$

$$t_{x(19-18)}(D) = \left(\frac{2.969 - 3.018}{3.018} \right) \times 100\% = -1,6235917826\%$$

$$t_{x(19-18)}(D)_{méd} = \frac{2,3744911805\% - 1,6235917826\%}{2} = 0,37544969895\%$$

$$t_{x(19-18)}(D) \cong 0,38\%$$

Volume Médio Diário Anual – Ano Base

Para o trecho de projeto, isso permite concluir com o ajuste de crescimento do VMD_a de 2017 para o ano de 2019, a partir do qual faremos a distribuição percentual entre as classes de veículos comerciais, para então propor uma “simulação” de projeção de tráfego e os testes das duas perguntas que norteiam a diretriz desse trabalho.

$$VMD_a^{Proj} = (1 + t_x) \times VMD_{a(ano)}$$

$$VMD_a(C)_{2019}^{Proj} = (1 + t_x) \times VMD_a(C)_{2017}$$

$$VMD_a(C)_{2019}^{Proj} = (1 + 0,014) \times 3.090 = 3.133,26 \cong 3.133 \text{ vpd}$$

$$VMD_a(D)_{2019}^{Proj} = (1 + t_x) \times VMD_a(D)_{2017}$$

$$VMD_a(D)_{2019}^{Proj} = (1 + 0,0038) \times 2.755 = 2.765,469 \cong 2.765 \text{ vpd}$$

Considerando o fator direcional:

$$VMD_a(Tot)_{2019}^{Proj} = VMD_a(C)_{2019}^{Proj} + VMD_a(D)_{2019}^{Proj}$$

$$VMD_a(Tot)_{2019}^{Proj} = 3.133 + 2.765 = 5.898 \text{ vpd}$$

Utilizando-se as seguintes notações (medidas em *utm*), a volumetria média diária anual do ano base (2019) passa a ser, por sentido:

$$VMD_a(Tot) = 5.898 \text{ vhp}$$

$$VMD_a(C) = f_a(C) \times VMD_a(Tot)_{2019}^{Proj}$$

$$VMD_a(C) = \frac{50,5\%}{100,0\%} \times 5.898 = 2978,49 \text{ vpd}$$

$$VMD_a(D) = \frac{49,5\%}{100,0\%} \times 5.898 = 2919,51 \text{ vpd}$$

Adota-se, para simulação de dimensionamento do pavimento:

$$VMD_a(C) = 2.978 \text{ vhp}$$

$$VMD_a(D) = 2.920 \text{ vhp}$$

Estabelecidos os valores anteriores, cabe definir a distribuição percentual das classes de veículos comerciais do tráfego no trecho de projeto, por meio das informações da pesquisa de contagem volumétrica e classificatória de curto período. Para isso foram utilizados os dados do Quadro II.1, do Anexo II, consolidados no Quadro 4.3. Foram consolidadas as volumetrias por tipo de eixo, para as categorias de classes veiculares do Quadro 4.4, que nos fornece as informações necessárias à aplicação do estudo de caso. Para finalizar foi estabelecido os valores de pesos médios por tipo de eixo (simples, tandem duplo e triplo). Sobre isso, foram adotadas as informações registradas no Quadro 4.5 (ver dados originais no Anexo II).

Os dados amostrais de pesagem foram considerados iguais ao exemplo do Manual de Estudo de Tráfego do DNIT (2006), página 248. Observando os valores do Quadro 4.5, o sentido de maior volumetria é o Crescente (C).

Sendo o dimensionamento do pavimento determinado para faixa de rolamento no sentido com maior volume de tráfego comercial, será adotado o sentido C. Os registros do Quadro 4.6 são aqueles utilizados no estudo de caso. O Quadro 4.7 fornece os limites máximos de peso por tipo de eixos que podem ser utilizados nas simulações deste trabalho, conforme legislação pertinente.

Quadro 4. 3: Distribuição percentual das classes de veículos comerciais, em relação ao VMD_a , por tipo de eixo e sentido.

Sentido	ÔNIBUS				VEÍCULOS DE CARGA											
	20		30		A (2 Eixos)		B-C-D (3 a 5 Eixos)		D (5 Eixos - C3)		E (6 Eixos - S3)			Demais Cam. >= 6 Eixos		
	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ESRD	Eixo Tras. ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ETD	Eixo Tras. ETT
C	2,348%		2,316%		5,350%		15,186%		0,662%		6,460%			12,829%		
D	2,696%		2,718%		4,958%		13,726%		0,308%		6,598%			12,468%		

Quadro 4. 4: Distribuição volumétrica (vhp), pelas classes de veículos utilizadas para cálculo do número N.

Sentido	ÔNIBUS				VEÍCULOS DE CARGA											
	20		30		A (2 Eixos)		B-C-D (3 a 5 Eixos)		D (5 Eixos - C3)		E (6 Eixos - S3)			Demais Cam. >= 6 Eixos		
	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ESRD	Eixo Tras. ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ETD	Eixo Tras. ETT
C	70		69		159		452		20		192			382		
D	79		79		145		401		9		193			364		
Tot	149		148		304		853		29		385			746		

Quadro 4. 5: Distribuição dos pesos médios (ton), pelos tipos de eixos (simples, tandem duplo e triplo) – sentido C.

ÔNIBUS				VEÍCULOS DE CARGA											
20		30		A (2 Eixos)		B-C-D (3 a 5 Eixos)		D (5 Eixos - C3)		E (6 Eixos - S3)			Demais Cam. >= 6 Eixos		
Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ESRD	Eixo Tras. ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ETD	Eixo Tras. ETT
3,33	4,62	3,32	7,46	3,86	6,95	4,02	8,97	4,82	19,83	4,93	7,92	19,92	5,15	14,18	19,75

Quadro 4. 6: Planilha final de cálculo do número N – sentido C.

Categoria	ÔNIBUS				VEÍCULOS DE CARGA											
	20		30		A (2 Eixos)		B-C-D (3 a 5 Eixos)		D (5 Eixos - C3)		E (6 Eixos - S3)			Demais Cam. >= 6 Eixos		
Tipo de Eixo	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ESRD	Eixo Tras. ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ETD	Eixo Tras. ETT
Média Peso p/ Eixo (ton.)	3,33	4,62	3,32	7,46	3,86	6,95	4,02	8,97	4,82	19,83	4,93	7,92	19,92	5,15	14,18	19,75
VMDa Classe Ano 1	70		69		159		452		20		192			382		
(%) VMDa Classe FE	50,3597%		49,6403%		13,1950%		37,5104%		1,6598%		15,9336%			31,7012%		
FC	0,026	0,085	0,025	0,054	0,049	0,497	0,058	0,364	0,127	2,922	0,140	0,874	2,974	0,169	3,515	2,876
Soma FC	0,1109		0,0797		0,5459		0,4223		3,0492		3,9887			6,5604		
FV = FE x FC	0,055862		0,039544		0,072037		0,158407		0,050609		0,635543			2,079714		
Soma FV	0,095407				2,996310											
(%) Vt Total	10,34226%				89,657738%											
Classe FV	0,009867				2,686423											
Total FV	2,696291															
Sentido Crescente - C																
VMDa	1344 veic./h				Taxa	Projeção		Projeção								
VMDa Ônibus	139 veic./h				2,80%	Linear		Não Linear	Vm	Vt						
								-	0,0000 veic.							
							Linear	Vm	Vt			Σ Vt				
								164,3397 veic./dia	62.983,1900 veic.			62.983,1900				
VMDa Caminhão	1205 veic./h				3,70%	Linear		Não Linear	Vm	Vt						
								-	0,0000 veic.							
							Linear	Vm	Vt			Σ Vt				
								1.518,0831 veic./dia	5.541.003,3150 veic.			5.541.003,3150				
Período (P)	10 anos		FR = 1,2		Total (Σ Vt) 5.603.986,5050											
Fator Adc. Traf. (f _{ad})	f _{ad}				18.131.971,8351											
Ônibus	1,05				Número N 1,81E+07 (operações equivalentes de Eixo Padrão)											
Caminhão	1,08															

Quadro 4. 7: Valores limites de peso por tipo de eixo, por categorias de classes de veículos comerciais (ton.).

ÔNIBUS				VEÍCULOS DE CARGA											
20		30		A (2 Eixos)		B-C-D (3 a 5 Eixos)		D (5 Eixos - C3)		E (6 Eixos - S3)			Demais Cam. >= 6 Eixos		
Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ESRD	Eixo Tras. ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ETD	Eixo Tras. ETT
Tonelada Máxima Quadro de Fabricantes CONTRAN (sem sobre carga)															
6,00	10,00	6,00	17,00	6,00	10,00	6,00	17,00	6,00	25,50	6,00	10,00	25,50	6,00	17,00	25,50
Tonelada Máxima (com sobre carga - Lei N° 14.229, 21/10/2021)															
6,75	11,25	6,75	19,13	6,75	11,25	6,75	19,13	6,75	28,69	6,75	11,25	28,69	6,75	19,13	28,69

4.2 COMPOSIÇÃO DOS CENÁRIOS

O uso de referências de valores de peso (*ton*), por tipo de eixo, adotados do próprio manual do DNIT, se dá pela ausência de publicação de informação dessa natureza, por parte do Departamento. O cenário hipotético utilizado para simulação do estudo de caso considerou um fator adicional de tráfego de 8% para caminhões ao final das estimativas de viagens, no período de projeto de 10 anos. Para ônibus, esse fator foi de 5%. As normas recomendam adotar um intervalo entre 10 e 20 anos para o período de projeto de uma rodovia, conforme informações analisadas no Manual de Estudo de Tráfego do DNIT (2006). Os valores adicionais foram arbitrados, sendo que eles representam, geralmente, um tráfego desviado devido às melhorias na via, além de um incremento de uma demanda reprimida, que passa a utilizar o trecho de projeto, por questões de tempo e/ou custo. Devido à complexidade em estimá-los, e dada a finalidade deste trabalho, os valores consideraram elementos observado na disciplina de Estradas II. Os testes das hipóteses (questões) deste trabalho, seguiu o seguinte roteiro, alterando os:

1. percentuais de volumetria de tráfego de classes específicas, mas mantendo o volume total de veículos comerciais com valor inalterado, para simular variações na estimativa e projeção de tráfego classificado;
2. os valores dos pesos por tipo de eixo, considerando os limites máximos admissíveis de erros, associados com a tecnologia de pesagem em células de cargas e cabos piezoelétricos.
3. Variar o valor do Índice de Suporte California (ISC ou CBR) do subleito e da camada de reforço do subleito, considerando o cenário em duas situações
 - a. base de projeção do tráfego, ou seja, sem alteração dos percentuais de volumetria dos veículos comerciais e dos pesos, por tipo de eixo;
 - b. com variação, primeiro para o tráfego (cenário I) e segundo para o peso (cenário II).

Com essa proposta de “simulação” dos principais parâmetros dos métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis, foram executados os devidos cálculos, auxiliados por planilhas no formato Excel, que funcionaram como um simulador para esta etapa deste trabalho. Os cenários utilizados são definidos na sequência.

Cenário I – Variação do VMD_a

Neste cenário, são feitas três reduções sequenciais, nos volumes médios das categorias de classes veiculares: “D (5 Eixos - C3)”, “E (6 Eixos - S3)” e “Demais Cam. \geq 6 Eixos”, transferindo esse tráfego para a “B-C-D (3 a 5 Eixos)”, sem alteração do volume total. Esse é um pressuposto válido, pois se trata de estimativas e projeções, cujos dados amostrais pesquisados e os métodos e critérios adotados para distribuição volumétrica classificatória, podem variar, gerando diferentes resultados entre as categorias listadas.

O modelo de projeção utilizado para os veículos comerciais (ônibus e caminhão) foi o “Linear”, conforme especificado no Manual de Pavimentação do DNIT (2006). Para cada resultado, obteve-se um valor de número N, incluindo o cenário inicial, sem qualquer redistribuição de volume entre essas categorias. O resultado do dimensionamento para as camadas granulares e de revestimento é apresentada no Quadro 4.7. Conforme definido na metodologia, o estudo de caso considerou uma especificação de CBR e coeficiente de equivalência estrutural K, para um tipo de solo específico.

Após isso, geram-se novos resultados, mantendo-se a distribuição percentual entre as categorias, mas reduzindo e ampliando o valor do VMD_a total dos veículos comerciais, de forma gradual.

Cenário II – Variação do Peso por Tipo de Eixo

Nesse cenário, foi adotada, como especificado na metodologia, uma variação percentual do valor do peso médio especificado em cada tipo de eixo, para cada categoria de classes de veículos comerciais. A máxima variação aceitável foi adotada como aquela das pesagens estáticas e dinâmicas, executadas, respectivamente, em chapas de carga e cabos piezoelétricos, como se reproduz nas Unidades Móveis Operacionais Estáticas (UMO-E) do DNIT e no PNCT. Isso equivale a aceitar uma variação mínima de 2% e máxima de 12%. O Quadro 4.8 registra o resultado dos dimensionamentos das camadas do pavimento flexível do trecho de projeto, considerando os mesmos critérios que no cenário anterior.

Cenário III – Variação Gradual do ISC (CBR)

Neste caso, a variação foi imposta por redução e ampliação gradual do CBR do subleito, originalmente proposto para o Estudo de Caso concebido na metodologia. Sendo o $CBR = 5\%$, foram testados os valores de 2%, 3%, 4%, 6% 7% e 8%, com duas ampliações e reduções sequenciais do CBR original. Para manter a proposta de uso da camada de reforço do subleito, esse seguiu a mesma lógica de redução e ampliação, sendo utilizado os valores de CBR iguais à: 5%, 6%, 7%, 9%, 10% e 11%.

A utilização desses valores de CBR se deu para o cenário base, sem alterações percentuais do volume de tráfego ou do peso por tipo de eixo, avaliando-se, com isso, a “sensibilidade” dos métodos de dimensionamento, ao parâmetro relacionado com a resistência dos materiais componentes das camadas granulares. Os coeficientes de equivalência estrutural dessas camadas e do revestimento betuminoso permaneceram inalterados.

Os resultados obtidos para os três cenários descritos, são registrados nos quadros e tabelas do Anexo 1, e as análises dos resultados apresentados na sequência.

4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados das simulações paramétricas estão registrados no Anexo II. Considerando os cenários definidos anteriormente, podemos analisar que:

Cenário I

1º - com a variação não significativa do volume de determinadas categorias de classes veiculares, não se verificou significativas variações das espessuras das camadas componentes de pavimentos flexíveis, sejam elas granulares ou de revestimento betuminoso. Os resultados obtidos demonstraram que variações não significativas desse parâmetro não impactam o dimensionamento das camadas de pavimentos flexíveis. Os resultados registrados na Tabela 4.1 corroboram essa afirmação (ver Tabela II.1, Anexo II).

Portanto, a primeira questão proposta neste trabalho pode ser respondida:

Questão I: variações percentuais não significativas dos volumes de tráfego de determinados veículos comerciais, resultam em significativas variações das espessuras das camadas granulares e do revestimento de pavimentos flexíveis?

Resposta: Não. Isso não é verificado pelos testes apresentados.

A resposta apresentada vale para os dois métodos de dimensionamento oficialmente normatizados pelo DNIT.

Tabela 4. 1: Resultados obtidos pela análise do parâmetro percentual de volumetria.

Número N			1,81E+07	1,66E+07	1,58E+07	1,50E+07	1,43E+07
Varição das Espessuras das Camadas dos Pavimentos							
<u>Método: CBR</u>							
Camadas Granulares (cm)	CBR (%)	K					
B: Base	60 - 80	1	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
h ₂₀ : Sub-Base	20	1	15,13	15,00	15,00	15,00	15,00
h ₈ : Reforço-Subleito	8	1	16,27	16,11	15,96	15,80	15,63
Subleito	5	III					
<u>Revestimento Betuminoso (cm)</u>							
CBUQ		2	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
H_{total}: (revestimento + base + sub-base + ref. subleito)			56,39	56,11	55,96	55,80	55,63
H ₂₀			28,98	28,86	28,79	28,72	28,65
H ₈			50,13	49,91	49,80	49,68	49,55
H ₅ (Hequivalente)			66,39	66,11	65,96	65,80	65,63
<u>Método: TECNAPAV</u>							
D: Deflexão admissível (10 ⁻² mm)			60,73	61,75	62,31	62,90	63,52
D _p : Deflexão de projeto (10 ⁻² mm)			46,61	47,00	47,21	47,43	47,66
<u>Camada Betuminosa e Granular (cm)</u>							
H _{CB} : Espessura mín. camada betuminosa			15,70	15,55	15,48	15,40	15,32
H _{CG} : Espessura mín. camada granular (base e sub-base)			35,00	35,00	35,00	35,00	35,00
<u>Solo Tipo I e II</u>							
H _B : Espessura da base granular			-	-	-	-	-
H _{SB} : Espessura da sub-base			-	-	-	-	-
H_{total}: (revestimento + base + sub-base)			-	-	-	-	-
<u>Solo Tipo III</u>							
H _B : Espessura da base granular			17,50	17,50	17,50	17,50	17,50
H _{SB} : Espessura da sub-base			17,50	17,50	17,50	17,50	17,50
H _R : Espessura camada de reforço (solo)			30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
H_{total}: (revestimento + base + sub-base + ref. subleito)			80,70	80,55	80,48	80,40	80,32
I ₁ : Constantes de resiliência - Subleito	0						
I ₂ : Contante de resiliência - Subleito	1						
VE: Valores estruturais	2						

Cenário II

2º - com a variação não significativa do peso por tipo de eixo e categorias de classes veiculares, não se verificou significativas variações das espessuras das camadas componentes de pavimentos flexíveis. Os resultados registrados na Tabela 4.2 corroboram essa afirmação (ver Tabela II.2, Anexo II).

Tabela 4. 2: Resultados obtidos pela análise do parâmetro percentual de peso.

Número N			1,04E+07	1,66E+07	1,81E+07	1,98E+07	2,99E+07
Varição das Espessuras das Camadas dos Pavimentos							
<u>Método: CBR</u>							
Camadas Granulares (cm)	CBR (%)	K					
B: Base	60 - 80	1	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
h ₂₀ : Sub-Base	20	1	15,00	15,00	15,13	15,34	16,35
h ₈ : Reforço-Subleito	8	1	15,00	16,11	16,27	16,34	16,66
Subleito	5	III					
<u>Revestimento Betuminoso (cm)</u>							
CBUQ		2	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
H_{total}: (revestimento + base + sub-base + ref. subleito)			55,00	56,11	56,39	56,67	58,01
H ₂₀			28,21	28,86	28,98	29,10	29,69
H ₈			48,80	49,91	50,13	50,34	51,35
H ₅ (Hequivalente)			64,64	66,11	66,39	66,67	68,01
<u>Método: TECNAPAV</u>							
D: Deflexão admissível (10 ⁻² mm)			67,43	61,75	60,73	59,75	55,29
D _p : Deflexão de projeto (10 ⁻² mm)			49,10	47,00	46,61	46,24	44,54
<u>Camada Betuminosa e Granular (cm)</u>							
H _{CB} : Espessura mín. camada betuminosa			14,82	15,56	15,70	15,84	16,51
H _{CG} : Espessura mín. camada granular (base e sub-base)			35,00	35,00	35,00	35,00	35,00
<u>Solo Tipo I e II</u>							
H _B : Espessura da base granular			-	-	-	-	-
H _{SB} : Espessura da sub-base			-	-	-	-	-
H_{total}: (revestimento + base + sub-base)			-	-	-	-	-
<u>Solo Tipo III</u>							
H _B : Espessura da base granular			17,50	17,50	17,50	17,50	17,50
H _{SB} : Espessura da sub-base			17,50	17,50	17,50	17,50	17,50
H _R : Espessura camada de reforço (solo)			30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
H_{total}: (revestimento + base + sub-base + ref. subleito)			79,82	80,56	80,70	80,84	81,51
I ₁ : Constantes de resiliência - Subleito		0					
I ₂ : Contante de resiliência - Subleito		1					
VE: Valores estruturais		2					

A segunda questão proposta neste trabalho também pode ser respondida:

Questão II: variações percentuais não significativas dos volumes de tráfego de determinados veículos comerciais, resultam em significativas variações das espessuras das camadas granulares e do revestimento de pavimentos flexíveis?

Resposta: Não. Isso não é verificado pelos testes apresentados.

Como principais conclusões observados os resultados descritos, destacam-se:

- a) os métodos testados demonstram abordagens que resultam em modelos matemáticos que privilegiam o parâmetro de resistência dos materiais constituintes das camadas do pavimento, em especial as camadas granulares.
- b) mantidos os parâmetros de resistências (CBR e K) dos materiais constituintes das camadas do pavimento, determinadas faixas de variação volumétrica e de peso resultarão no mesmo dimensionamento das espessuras dessas camadas (variações não significativas).
- c) Para alterar essas espessuras, os valores desses dois parâmetros devem variar significativamente, em tal magnitude, que promova a extrapolação dessas faixas de valores.

Cenário III

Quanto ao Índice de Suporte Califórnia (ISC ou CBR), os resultados das simulações permitem concluir que os métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis analisados, **são consideravelmente “sensíveis” às variações desse parâmetro.**

Uma mudança sequencial de CBR (uma unidade para mais ou para menos) implica em significativas modificações nas espessuras das camadas dos pavimentos. Esses resultados não são lineares, sendo tal significância reduzida quanto maior forem os valores de CBR para o reforço do subleito, e principalmente, para o solo de fundação (subleito). A partir de determinados valores não ocorre mais variações dessas espessuras. As simulações realizadas neste cenário estão apresentadas na Tabela 4.3 (ver também a Tabela II.3 do Anexo II).

Os resultados não deixam dúvida. Para os valores de volumetria e peso apropriados ao trecho de projeto, as espessuras das camadas do pavimento são sensíveis para o CBR do subleito variando de 2% até 8% e do reforço do subleito de

5% até 11%. A partir desses valores limites, não se verifica variações significativas das espessuras, em função do CBR.

Seria necessário que ocorresse uma mudança de faixa de valores de volume e peso (uma, outra ou ambas simultaneamente), para que os métodos se tornem novamente “sensíveis” a esses parâmetros no dimensionamento dessas espessuras.

Tabela 4. 3: Variação das espessuras das camadas do pavimento em função do CBR.

Camada		CBR (%)						
Reforço do subleito: n		5	6	7	8	9	10	11
Subleito: m		2	3	4	5	6	7	8
Método	Camada	Espessura (cm)						
CBR	R	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
	B	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
	h ₂₀	31,39	24,54	19,29	15,13	15,00	15,00	15,00
	h _n	48,45	30,58	21,58	16,27	15,00	15,00	15,00
	H_{total}	104,84	80,11	65,87	56,39	55,00	55,00	55,00
TECNAPAV	H _{CB}	39,92	27,56	20,44	15,70	12,27	8,54	8,54
	H _B	17,50	17,50	17,50	17,50	17,50	15,19	13,11
	H _{SB}	17,50	17,50	17,50	17,50	17,50	15,19	13,11
	H _R	69,21	43,68	30,83	30,00	-	-	-
	H_{total}	144,13	106,24	86,26	80,70	43,54	38,92	34,76

Em definitivo, conclui-se que os métodos testados são elaborados para trabalhar associados, em faixas de valores de volumes de veículos comerciais, seus respectivos pesos por tipo de eixo, e combinações de CBR do subleito e do reforço do subleito. São concebidos por abordagens metodológicas que consideram os parâmetros de resistência dos materiais como preponderantes para faixas de cargas e tensões solicitantes do pavimento.

Simulação de Verificação – Faixas de Volumetria Significativa

A título de verificação da constatação descrita, foi estabelecida uma variação paramétrica nos valores da volumetria de veículos comerciais, ampliando em faixas de 100% a 250%. Isso descaracteriza completamente as condições operacionais de trecho de projeto, contudo, não tem relevância nesse contexto, pois o que se quer é avaliar as faixas de variação volumétricas (parametricamente) que implicam em mudanças significativas do dimensionamento do pavimento. A Tabela 4.4 registra os resultados, dos quais podemos concluir que, mantidas inalteradas as condições de peso e coeficientes estruturais dos materiais das camadas do pavimento do Estudo de Caso, a partir de 4.000 *vpd* observa-se uma mudança na espessura da camada *R*, de revestimento betuminoso (CBUQ), o que implica em uma alteração relevante para fins de dimensionamento de pavimentos.

Para o método do CBR, a ampliação dessa camada acaba, contudo, impondo uma redução das espessuras das camadas granulares, o que compensa a espessura total do pavimento. Para o método TECNAPAV, observa-se que os resultados se assemelham aos do CBR. A espessura da camada betuminosa (H_{CB}) tem ampliação de aproximadamente 2,0 *cm*, também a partir de 4.000 *vpd*. Devido às condições de contorno do método, não se verifica mudanças nas espessuras das camadas granulares. Para fechar o trabalho, essa mesma simulação foi conduzida para valores de peso em uma condição de ampliação na faixa limite de 12,0% de erro admissível, passível de ocorrer nas pesagens veiculares realizadas com cabos piezoelétricos. A Tabela 4.5 registra os resultados obtidos. Nessa condição, pelo método do CBR, a partir de 2.700 *vpd* ocorre uma mudança na dimensão do pavimento, especificamente na espessura da sua camada (*R*). Para as camadas granulares ocorre, também, uma compensação, mantendo-as praticamente nas condições da volumetria antes da sua ampliação.

Tabela 4. 4: Variação do volume de veículos comerciais no cenário base.

Parâmetro	Condições		Variação do Número N				
Número N			1,81E+07	3,63E+07	4,53E+07	5,44E+07	6,35E+07
VMDa veículos comerciais (ônibus e caminhões) - (vhp)			1344	2688	3360	4032	4704
Variação das Espessuras das Camadas dos Pavimentos							
Método: CBR							
Camadas Granulares (cm)	CBR (%)	K					
B: Base	60 - 80	1	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
h ₂₀ : Sub-Base	20	1	15,13	16,83	17,39	15,00	15,00
h ₈ : Reforço-Subleito	8	1	16,27	16,82	17,00	15,00	15,53
Subleito	5	III					
Revestimento Betuminoso (cm)							
CBUQ		2	10,00	10,00	10,00	12,50	12,50
H_{total}: (revestimento + base + sub-base + ref. subleito)			56,39	58,65	59,39	57,50	58,03
H ₂₀			28,98	29,96	30,29	30,56	30,78
H ₈			50,13	51,83	52,39	52,85	53,25
H ₅ (Hequivalente)			66,39	68,65	69,39	70,00	70,53
Método: TECNAPAV							
D: Deflexão admissível (10 ⁻² mm)			60,73	53,31	51,12	49,40	47,99
D _p : Deflexão de projeto (10 ⁻² mm)			46,61	35,81	35,23	34,77	34,38
Camada Betuminosa e Granular (cm)							
H _{CB} : Espessura mín. camada betuminosa			15,70	16,82	17,20	17,50	17,76
H _{CG} : Espessura mín. camada granular (base e sub-base)			35,00	35,00	35,00	35,00	35,00
Solo Tipo I e II							
H _B : Espessura da base granular			-	-	-	-	-
H _{SB} : Espessura da sub-base			-	-	-	-	-
H_{total}: (revestimento + base + sub-base)			-	-	-	-	-
Solo Tipo III							
H _B : Espessura da base granular			17,50	17,50	17,50	17,50	17,50
H _{SB} : Espessura da sub-base			17,50	17,50	17,50	17,50	17,50
H _R : Espessura camada de reforço (solo)			30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
H_{total}: (revestimento + base + sub-base + ref. subleito)			80,70	81,82	82,20	82,50	82,76
I ₁ : Constantes de resiliência - Subleito	0						
I ₂ : Contante de resiliência - Subleito	1						
VE: Valores estruturais	2						

(Mantém inalterado o peso e as condições dos materiais granulares e do solo do subleito).

Para o método TECNAPAV, essa faixa se mantém em 4.000 *vpd*, a partir da qual se tem uma alteração relevante da espessura da camada betuminosa (H_{CB}). As demais camadas permanecem inalteradas. As simulações apresentadas podem ser

realizadas por deságio, ou seja, por redução da volumetria e do peso, ao limite mínimo de erro admissível de 2% para pesagens feitas em células de carga.

Contudo, entende-se que o que está apresentado seja suficiente para sustentar, quantitativamente, as análises dos resultados deste trabalho.

Tabela 4. 5: Variação do volume de veículos comerciais no cenário limite de peso.

Parâmetro	Condições		Variação do Número N				
Número N			2,99E+07	5,97E+07	7,47E+07	8,96E+07	1,05E+08
VMDa veículos comerciais (ônibus e caminhões) - (vhp)			1344	2688	3360	4032	4704
Variação das Espessuras das Camadas dos Pavimentos							
<u>Método: CBR</u>							
Camadas Granulares (cm)	CBR (%)	K					
B: Base	60 - 80	1	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
h ₂₀ : Sub-Base	20	1	16,35	15,00	15,00	15,00	15,00
h ₈ : Reforço-Subleito	8	1	16,66	15,32	16,08	16,71	17,24
Subleito	5	III					
Revestimento Betuminoso (cm)							
CBUQ		2	10,00	12,50	12,50	12,50	12,50
H_{total}: (revestimento + base + sub-base + ref. subleito)			58,01	57,82	58,58	59,21	59,74
H ₂₀			29,69	30,69	31,03	31,30	31,53
H ₈			51,35	53,09	53,67	54,14	54,54
H ₅ (Hequivalente)			68,01	70,32	71,08	71,71	72,24
<u>Método: TECNAPAV</u>							
D: Deflexão admissível (10 ⁻² mm)			55,29	48,53	46,54	44,97	43,69
D _p : Deflexão de projeto (10 ⁻² mm)			44,54	34,53	33,98	33,54	33,17
Camada Betuminosa e Granular (cm)							
H _{CB} : Espessura mín. camada betuminosa			16,51	17,66	18,04	18,35	18,62
H _{CG} : Espessura mín. camada granular (base e sub-base)			35,00	35,00	35,00	35,00	35,00
Solo Tipo I e II							
H _B : Espessura da base granular			-	-	-	-	-
H _{SB} : Espessura da sub-base			-	-	-	-	-
H_{total}: (revestimento + base + sub-base)			-	-	-	-	-
Solo Tipo III							
H _B : Espessura da base granular			17,50	17,50	17,50	17,50	17,50
H _{SB} : Espessura da sub-base			17,50	17,50	17,50	17,50	17,50
H _R : Espessura camada de reforço (solo)			30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
H_{total}: (revestimento + base + sub-base + ref. subleito)			81,51	82,66	83,04	83,35	83,62
I ₁ : Constantes de resiliência - Subleito	0						
I ₂ : Contante de resiliência - Subleito	1						
VE: Valores estruturais	2						

(Mantêm inalterado condições dos materiais granulares e do solo do subleito, mas peso é fixado no limite).

Importante ressaltar que há diferença no dimensionamento da espessura do revestimento betuminoso, quando comparado os resultados obtidos pelos dois métodos.

O CBR, para o mínimo de 12,5 *cm* garante as espessuras da base e sub-base, trabalhando também nos seus valores mínimos (15,0 *cm*), ficando o reforço do subleito em condições próximas a esse limite inferior.

O TECNAPAV exige, “de saída”, uma espessura mínima, maior do que a calculada pelo método do CBR para o revestimento betuminoso. Isso se dá pelas condições de contorno que envolvem as formulações do método TECNAPAV, especialmente quando se trata de solo tipo III. Esse aspecto tem direta relação com a manutenção da “esbeltez” da camada granular (base + sub-base).

De qualquer forma, essa observação não impacta a análise proposta, pois o que se avalia é a variação da espessura das camadas do pavimento, observando cada método em separado.

4.4 ANÁLISE GERAL

A proposta inicial do trabalho, em compreender a relação entre os parâmetros de dimensionamento de camadas de pavimentos flexíveis, conforme os métodos tradicionais preconizados nas normas do DNIT, mostrou-se desafiador em função da complexidade matemática envolvida.

A análises indicaram que os métodos seguem princípios de dimensionamento com resultados expressando “pouca” variação, dentro de determinadas faixas de valores para pesos e volumes de tráfego. Isso implica em valores de espessuras das camadas desse tipo de pavimento, suportando faixas de variações de cargas e tensões.

Por isso, mesmo que exista incertezas significativas nas estimativas de volumetria média de veículos comerciais, incluindo os seus pesos por tipo de eixo, os métodos de dimensionamento estudados possuem fatores de segurança “embutidos” em suas formulações matemáticas, que visam dar garantias de resistência, dentro dessas faixas de variação das forças e tensões aplicadas ao pavimento.

Diante disso, não se pode esperar que variações não significativas da volumetria de tráfego ou do peso, sejam responsáveis por mudanças abruptas nos resultados das espessuras das camadas do pavimento.

Contudo, quando se trata do parâmetro de resistência dos materiais componentes dessas camadas, para determinados valores de CBR e resiliência (tipo de solo), existem significativas variações desse dimensionamento, para alterações não significativas dessas variáveis.

Isso, contudo, não segue uma função linear, sendo considerável para determinadas faixas de valores de CBR, principalmente quando se trata de solos do tipo III, avaliados sob o aspecto da sua resiliência.

Por conta dessas características, pode-se imaginar uma proposição de medidas técnicas, que permitam aos projetistas trabalharem seus dimensionamentos por “faixas” de valores combinados entre: volumes de tráfego, pesos por tipo de eixos, CBR e tipo de classificação do solo de fundação e do seu reforço.

Por fim, este trabalho não teve por objetivo estudar os limites máximos e mínimos dessas faixas de variação das variáveis descritas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal foco no dimensionamento de pavimentos é determinar a espessura das camadas do mesmo, sendo isso de extrema importância para verificar o quanto essa estrutura irá resistir à fadiga gerada pela repetição de veículos passantes, principalmente comerciais.

A análise paramétrica permite atestar, de forma isolada, o comportamento das variáveis que influenciam no dimensionamento e propor soluções para obtenção dos resultados de desempenho.

Este trabalho teve como objetivo fazer uma análise dos métodos empregados pelo Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte – DNIT e verificar o comportamento dos mesmos a variações não significativas de volume de tráfego e pesagem.

Conforme destacado neste trabalho, os principais parâmetros que determinam o número N não sugerem severas modificações na espessura das camadas do pavimento, se forem submetidos a variações percentuais não significativas.

Já em relação às respostas dos métodos de dimensionamento analisados em função do CBR, a menor variação nesse fator é preponderante para mudanças na espessura dessas camadas, assim como também a simulação de verificação para um número determinado de veículos por dia.

O método TECNAPAV apresentou resultados bem próximos ao do CBR no que se refere ao volume de tráfego. Em relação ao peso dos veículos, ele pede que a camada betuminosa seja de uma espessura maior à apresentada pelo CBR.

Por fim, a tendenciosa crescente de veículos comerciais nas estradas de rodagem, consequência do desenvolvimento global do mundo, requer que futuros trabalhos comentem sobre o comportamento dos métodos de dimensionamento apresentados neste trabalho, porém, para variações significativas do volume de tráfego e pesagem, concluindo assim se os mesmos estão sendo lineares com o crescimento da frota.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBANO, J. F., & LINDAU, L. A. (2006). **Revisando as Tecnologias para Pesagem de Veículos**. Rio Grande do Sul, Brasil: Revista Estradas.

BALBO, J. T. (2007). **Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos.

BICO, F. D. (28 de Junho de 2019). **Fonte: New Roads Consultoria**: <https://newroads.com.br/dnit-retoma-servico-de-fiscalizacao-de-peso-de-veiculos-de-carga-na-br-135-no-ma/>

CONCEPA, C. d.-P. (2009). **Métodos de Dimensionamento de Pavimentos - Metodologias e seus Impactos nos Projetos Novos e Restaurações**. Porto Alegre, RS.

FERNANDES, W. D. (2016). **Análise Comparativa Entre os Métodos de Dimensionamentos de Pavimentos Flexíveis do Brasil e o Método da AASHTO**. Santa Maria , RS, Brasil.

GONÇALVES, F. P. (Novembro de 1999). **O Desempenho dos Pavimentos Flexíveis**. Porto Alegre, RS.

HOFFMANN, I. C. (2017). **Análise dos Pesos dos Veículos em Movimento Coletados no Posto 40087 da Rodovia BR-381/MG à Luz da Legislação**. Brasília.

NASCIMENTO, D. M. (2005). **Análise Comparativa de Modelos de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis**. São Carlos, São Paulo.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro, 1996.

RODRIGUES, R. M. (Setembro de 1987). **Projeto de Reforço de Pavimentos Rodoviários e Aeroportuários pelo Método da Resiliência: Uma Nova Versão do TECNAPAV**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

SANTARÉM, S. D., RODRIGUES, F. D., & FIGUEIREDO, S. C. (2021). **Engenharia Civil: Inovação e Tecnologia no Contexto da Era Contemporânea**. Belo Horizonte: Poisson.

SOUZA, C. D., & D'AGOSTO, M. D. (02 de Maio de 2012). **Modelo de Quatro Etapas Aplicado ao Planejamento de Transporte de Cargas**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE - DNIT. **Manual de Estudos de Tráfego**. Rio de Janeiro, Brasil: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE. **Identificação de Sistemas de Pesagem em Movimento**. Brasília: Convênio TT 102/2007. UFSC. NEP. DNIT, 2009.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE - DNIT. 2017 **Fonte: Plano Nacional de Tráfego:** <https://servicos.dnit.gov.br/dadospnct/Pnt>.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE - DNIT. 2018. **Fonte: Plano Nacional de Contagem de Tráfego:** <https://servicos.dnit.gov.br/dadospnct/ContagemContinua>

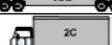
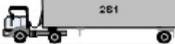
DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE - DNIT. 2019. **Fonte: Plano Nacional de Contagem de Tráfego:** <https://servicos.dnit.gov.br/dadospnct/ContagemContinua>

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE - DNIT. 2021. **Fonte: Gov.br:** <https://www.gov.br/dnit/pt-br/rodovias/operacoes-rodoviarias/umo>

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE. 2023. **Quadro de Fabricantes de Veículos.** Fonte: Gov.br: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/rodovias/operacoes-rodoviarias/pesagem/QFV2012ABRIL.pdf>

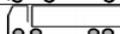
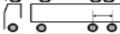
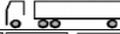
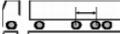
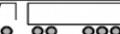
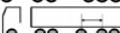
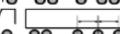
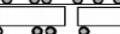
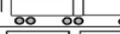
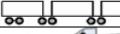
DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE - DNIT. **Manual de Pavimentação.** Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2006.

Figura I.3: Classificação veicular adotada na Pesquisa Nacional de Tráfego (PNT).

Tipo de Veículo	Cod	
	P1	Passeio (automóveis, pick-ups, utilitários e vans)
	P2	
	P3	
	O1	Coletivo (ônibus, micro-ônibus)
	O2	
	O3	
	C1	Caminhões de 2 a 4 eixos (Conjunto fixo, cabine + motor + carroceria)
	C2	
	C3	
	C4	
	C5	
	R1	Reboques de 4 a 7 eixos (Caminhão com carroceria adicional acoplada)
	R2	
	R3	
	R4	
	R5	
	R6	
	S1	Semirreboques de 3 a 9 eixos - articulados (Unidade de tração e carga em módulos separados)
	S2	
	S3	
	S4	
	S5	
	S6	
	SE1	
	SE2	
	SE3	
	SE4	
	SE5	
	MOTO	Moto (Motocicletas em geral)
TOTAL		

Fonte: Adaptado de consulta à: <https://servicos.dnit.gov.br/dadospnt/PNT>

Figura I.4: Classificação veicular adotada na Pesquisa Nacional de Tráfego (PNT).

Classe	Composições		
A	Ônibus e caminhões comerciais de 2 eixos	Ônibus	
		Caminhão simples	
B	Ônibus e caminhões comerciais de 3 eixos	Ônibus	
		Caminhão + Semirreboque	
C	Combinações de veículos de carga de 4 eixos	Caminhão simples	
		Caminhão + semirreboque	
		Caminhão + reboque	
		Caminhão + 2 semirreboques	
D	Combinações de veículos de carga de 5 eixos	Caminhão + semirreboque	
		Caminhão + reboque	
		Caminhão + semirreboque + reboque	
		Caminhão + 2 semirreboques	
E	Combinações de veículos de carga de 6 eixos	Caminhão + semirreboque	
		Caminhão + reboque	
		Caminhão + semirreboque + reboque	
		Caminhão + 2 semirreboques	
F	Combinações de veículos de carga de 7 eixos	Caminhão + reboque	
		Caminhão + 2 semirreboques	
		Caminhão + semirreboque + reboque	
		Caminhão + 2 reboques	
G	Combinações de veículos de carga de 8 eixos	Caminhão + 2 semirreboques	
		Caminhão + semirreboque + reboque	
		Caminhão + 2 reboques	
H	Combinações de veículos de carga de 9 eixos	Caminhão + 2 semirreboques	
		Caminhão + semirreboque + reboque	
		Caminhão + 3 semirreboques	
I	Veículos de passeio e utilitários		
J	Motocicletas		
L	Indefinido		Ex.: Veículos Especiais

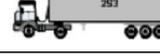
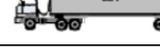
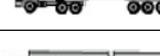
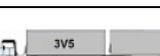
Fonte: Adaptado de consulta à: <https://servicos.dnit.gov.br/dadospnt/PNT>

ANEXO II

Quadro II.1: Distribuição percentual do volume semanal, posto de pesquisa.

Tipo de Veículo	Classe	Sentido	Dia							Semana	Total (%)
			01/07/17	02/07/17	03/07/17	04/07/17	05/07/17	06/07/17	07/07/17		
			Total							Σ Total	
	C1	C	142	64	172	175	206	205	207	1.171	5,350%
		D	74	74	140	148	186	187	125	934	4,958%
		Tot	216	138	312	323	392	392	332	2.105	5,168%
	C2	C	244	291	270	341	373	279	281	2.079	9,498%
		D	205	130	231	286	276	256	187	1.571	8,339%
		Tot	449	421	501	627	649	535	468	3.650	8,962%
	C3	C	6	17	6	56	14	39	7	145	0,662%
		D	4	14	0	5	2	28	5	58	0,308%
		Tot	10	31	6	61	16	67	12	203	0,498%
	C4	C	28	15	25	17	63	41	42	231	1,055%
		D	10	43	21	24	38	34	21	191	1,014%
		Tot	38	58	46	41	101	75	63	422	1,036%
	C5	C	7	17	4	12	5	9	3	57	0,260%
		D	16	4	7	14	28	8	16	93	0,494%
		Tot	23	21	11	26	33	17	19	150	0,368%
	M	C	85	53	85	123	69	98	123	636	2,906%
		D	83	76	84	84	85	92	113	617	3,275%
		Tot	168	129	169	207	154	190	236	1.253	3,077%
	O1	C	58	50	69	88	62	115	72	514	2,348%
		D	46	42	62	69	86	132	71	508	2,696%
		Tot	104	92	131	157	148	247	143	1.022	2,509%
	O2	C	80	84	51	93	37	69	41	455	2,079%
		D	68	77	34	79	35	74	40	407	2,160%
		Tot	148	161	85	172	72	143	81	862	2,116%
	O3	C	7	5	3	7	5	16	9	52	0,238%
		D	4	9	3	39	5	44	1	105	0,557%
		Tot	11	14	6	46	10	60	10	157	0,385%
	P1	C	1.297	1347	1469	1531	1243	1607	1522	10.016	45,760%
		D	1.495	1272	1148	1108	1154	1241	1385	8.803	46,725%
		Tot	2.792	2619	2617	2639	2397	2848	2907	18.819	46,207%
	P2	C	24	18	51	83	54	86	51	367	1,677%
		D	26	17	50	48	43	73	39	296	1,571%
		Tot	50	35	101	131	97	159	90	663	1,628%
	P3	C	123	142	149	142	145	123	162	986	4,505%
		D	63	85	148	154	156	183	145	934	4,958%
		Tot	186	227	297	296	301	306	307	1.920	4,714%
	R1	C	0	0	0	0	0	1	0	1	0,005%
		D	0	2	0	0	0	0	0	2	0,011%
		Tot	0	2	0	0	0	1	0	3	0,007%
	R2	C	0	0	0	1	0	6	0	7	0,032%
		D	0	0	0	0	1	0	0	1	0,005%
		Tot	0	0	0	1	1	6	0	8	0,020%
	R3	C	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000%
		D	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000%
		Tot	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000%
	R4	C	0	0	0	3	0	1	0	4	0,018%
		D	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000%
		Tot	0	0	0	3	0	1	0	4	0,010%
	R5	C	0	0	0	0	0	1	0	1	0,005%
		D	0	0	0	1	0	0	0	1	0,005%
		Tot	0	0	0	1	0	1	0	2	0,005%
	R6	C	0	0	0	5	0	8	0	13	0,059%
		D	1	0	0	0	0	0	0	1	0,005%
		Tot	1	0	0	5	0	8	0	14	0,034%

(caminhões, truck, moto, ônibus, veículos de passeio, vans, utilitários e reboques).

Tipo de Veículo	Classe	Sentido	Dia							Semana	Total (%)
			01/07/17	02/07/17	03/07/17	04/07/17	05/07/17	06/07/17	07/07/17	Σ Total	
			Total								
	S1	C	2	18	4	9	0	22	1	56	0,256%
		D	2	4	5	7	3	7	2	30	0,159%
		Tot	4	22	9	16	3	29	3	86	0,211%
	S2	C	62	102	39	114	55	80	47	499	2,280%
		D	86	35	46	44	32	96	35	374	1,985%
		Tot	148	137	85	158	87	176	82	873	2,143%
	S3	C	162	217	194	232	202	192	215	1.414	6,460%
		D	229	137	106	201	166	193	211	1.243	6,598%
		Tot	391	354	300	433	368	385	426	2.657	6,524%
	S4	C	2	33	1	11	0	26	0	73	0,334%
		D	1	2	0	21	6	16	2	48	0,255%
		Tot	3	35	1	32	6	42	2	121	0,297%
	S5	C	32	57	19	79	19	76	36	318	1,453%
		D	42	20	46	36	30	62	42	278	1,476%
		Tot	74	77	65	115	49	138	78	596	1,463%
	S6	C	281	334	340	384	304	351	306	2.300	10,508%
		D	387	229	208	297	281	279	307	1.988	10,552%
		Tot	668	563	548	681	585	630	613	4.288	10,528%
	SE1	C	29	40	33	49	30	27	33	241	1,101%
		D	25	18	30	37	26	30	35	201	1,067%
		Tot	54	58	63	86	56	57	68	442	1,085%
	SE2	C	11	21	17	42	4	35	20	150	0,685%
		D	21	4	9	11	8	2	21	76	0,403%
		Tot	32	25	26	53	12	37	41	226	0,555%
	SE3	C	0	5	1	1	1	4	0	12	0,055%
		D	3	0	0	3	0	1	0	7	0,037%
		Tot	3	5	1	4	1	5	0	19	0,047%
	SE4	C	1	1	2	1	0	0	0	5	0,023%
		D	0	0	0	1	0	0	0	1	0,005%
		Tot	1	1	2	2	0	0	0	6	0,015%
	SE5	C	4	10	3	26	13	26	3	85	0,388%
		D	10	5	4	13	8	24	8	72	0,382%
		Tot	14	15	7	39	21	50	11	157	0,385%
Total		C	2.687	2941	3007	3625	2904	3543	3181	21.888	100,000%
		D	2.901	2299	2382	2730	2655	3062	2811	18.840	100,000%
		Tot	5.588	5240	5389	6355	5559	6605	5992	40.728	
Média Diária		C									3.127
		D									2.691
		Tot									

(Semirreboques e semirreboques especiais, combinados).

Fonte: Extraído de: <https://servicos.dnit.gov.br/dadospnct/Pnt>.

Quadro II. 2: Cenário de Simulação I.A – variação de 10% do VMD_a do ano base.

Categoria	ÔNIBUS				VEÍCULOS DE CARGA														
	20		30		A (2 Eixos)		B-C-D (3 a 5 Eixos)		D (5 Eixos - C3)		E (6 Eixos - S3)			Demais Cam. >= 6 Eixos					
Tipo de Eixo	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ESRD	Eixo Tras. ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ETD	Eixo Tras. ETT			
Média Peso p/ Eixo (ton.)	3,33	4,62	3,32	7,46	3,86	6,95	4,02	8,97	4,82	19,83	4,93	7,92	19,92	5,15	14,18	19,75			
VMDa Classe Ano 1	70		69		159		511		18		173			344					
(%) VMDa Classe FE	50,3597%		49,6403%		13,1950%		42,4398%		1,4938%		14,3402%			28,5311%					
FC	0,026	0,085	0,025	0,054	0,049	0,497	0,058	0,364	0,127	2,922	0,140	0,874	2,974	0,169	3,515	2,876			
Soma FC	0,1109		0,0797		0,5459		0,4223		3,0492		3,9887			6,5604					
FV = FE x FC	0,055862		0,039544		0,072037		0,179224		0,045548		0,571989			1,871742					
Soma FV	0,095407				2,740540														
(%) Vt Total	10,34226%				89,657738%														
Classe FV	0,009867				2,457106														
Total FV	2,466974																		
Sentido Crescente - C																			
VMDa	1344 veic./h				Taxa	Projeção				Projeção									
VMDa Ônibus	139 veic./h				2,80%	Linear				Não Linear	Vm	Vt							
										-	0,0000 veic.								
										Linear	Vm	Vt			Σ Vt				
										164,3397	veic./dia			62.983,1900 veic.			62.983,1900		
VMDa Caminhão	1205 veic./h				3,70%	Linear				Não Linear	Vm	Vt							
										-	0,0000 veic.								
										Linear	Vm	Vt			Σ Vt				
										1.518,0831	veic./dia			5.541.003,3150 veic.			5.541.003,3150		
Período (P)	10 anos				FR = 1,2				Total (Σ Vt)								5.603.986,5050		
Fator Adc. Traf. (f _{ad})	f _{ad}								16.589.864,7431										
Ônibus	1,05								Número N								1,66E+07 (operações equivalentes de Eixo Padrão)		
Caminhão	1,08																		

Quadro II. 3: Cenário de Simulação I.B – redução de 15% do VMD_a do ano base, das classes D, E, e >=6 Eixos.

Categoria	ÔNIBUS				VEÍCULOS DE CARGA												
	20		30		A (2 Eixos)		B-C-D (3 a 5 Eixos)		D (5 Eixos - C3)		E (6 Eixos - S3)			Demais Cam. >= 6 Eixos			
Tipo de Eixo	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ESRD	Eixo Tras. ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ETD	Eixo Tras. ETT	
Média Peso p/ Eixo (ton.)	3,33	4,62	3,32	7,46	3,86	6,95	4,02	8,97	4,82	19,83	4,93	7,92	19,92	5,15	14,18	19,75	
VMDa Classe Ano 1	70		69		159		541		17		163			325			
(%) VMDa Classe FE	50,3597%		49,6403%		13,1950%		44,9046%		1,4108%		13,5436%			26,9461%			
FC	0,026	0,085	0,025	0,054	0,049	0,497	0,058	0,364	0,127	2,922	0,140	0,874	2,974	0,169	3,515	2,876	
Soma FC	0,1109		0,0797		0,5459		0,4223		3,0492		3,9887			6,5604			
FV = FE x FC	0,055862		0,039544		0,072037		0,189633		0,043017		0,540212			1,767757			
Soma FV	0,095407				2,612656												
(%) Vt Total	10,34226%				89,657738%												
Classe FV	0,009867				2,342448												
Total FV	2,352315																
Sentido Crescente - C																	
VMDa	1344 veic./h				Taxa	Projeção				Projeção							
VMDa Ônibus	139 veic./h				2,80%	Linear				Não Linear	Vm	Vt					
										-	0,0000 veic.						
										Linear	Vm	Vt			Σ Vt		
										164,3397	62.983,1900 veic./dia			62.983,1900			
VMDa Caminhão	1205 veic./h				3,70%	Linear				Não Linear	Vm	Vt					
										-	0,0000 veic.						
										Linear	Vm	Vt			Σ Vt		
										1.518,0831	5.541.003,3150 veic./dia			5.541.003,3150			
Período (P)	10 anos				FR = 1,2				Total (Σ Vt)								5.603.986,5050
Fator Adc. Traf. (f _{ad})	f _{ad}								15.818.811,1971								
Ônibus	1,05								Número N								1,58E+07 (operações equivalentes de Eixo Padrão)
Caminhão	1,08																

Quadro II. 4: Cenário de Simulação I.C – redução de 20% do VMD_a do ano base, das classes D, E, e >=6 Eixos.

Categoria	ÔNIBUS				VEÍCULOS DE CARGA												
	20		30		A (2 Eixos)		B-C-D (3 a 5 Eixos)		D (5 Eixos - C3)		E (6 Eixos - S3)			Demais Cam. >= 6 Eixos			
Tipo de Eixo	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ESRD	Eixo Tras. ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ETD	Eixo Tras. ETT	
Média Peso p/ Eixo (ton.)	3,33	4,62	3,32	7,46	3,86	6,95	4,02	8,97	4,82	19,83	4,93	7,92	19,92	5,15	14,18	19,75	
VMDa Classe Ano 1	70		69		159		571		16		154			306			
(%) VMDa Classe FE	50,3597%		49,6403%		13,1950%		47,3693%		1,3278%		12,7469%			25,3610%			
FC	0,026	0,085	0,025	0,054	0,049	0,497	0,058	0,364	0,127	2,922	0,140	0,874	2,974	0,169	3,515	2,876	
Soma FC	0,1109		0,0797		0,5459		0,4223		3,0492		3,9887			6,5604			
FV = FE x FC	0,055862		0,039544		0,072037		0,200042		0,040487		0,508434			1,663771			
Soma FV	0,095407				2,484771												
(%) Vt Total	10,34226%				89,657738%												
Classe FV	0,009867				2,227789												
Total FV	2,237657																
Sentido Crescente - C																	
VMDa	1344 veic./h				Taxa	Projeção				Projeção							
VMDa Ônibus	139 veic./h				2,80%	Linear				Não Linear	Vm	Vt			Σ Vt		
										-	0,0000 veic.						
										Linear	Vm	Vt			Σ Vt		
										164,3397 veic./dia	62.983,1900 veic.			62.983,1900			
VMDa Caminhão	1205 veic./h				3,70%	Linear				Não Linear	Vm	Vt			Σ Vt		
										-	0,0000 veic.						
										Linear	Vm	Vt			Σ Vt		
										1.518,0831 veic./dia	5.541.003,3150 veic.			5.541.003,3150			
Período (P)	10 anos				FR = 1,2				Total (Σ Vt)								5.603.986,5050
Fator Adc. Traf. (f _{ad})	f _{ad}								15.047.757,6510								
Ônibus	1,05								Número N								1,50E+07 (operações equivalentes de Eixo Padrão)
Caminhão	1,08																

Quadro II. 5: Cenário de Simulação I.D – redução de 25% do VMD_a do ano base, das classes D, E, e >=6 Eixos.

Categoria	ÔNIBUS				VEÍCULOS DE CARGA												
	20		30		A (2 Eixos)		B-C-D (3 a 5 Eixos)		D (5 Eixos - C3)		E (6 Eixos - S3)			Demais Cam. >= 6 Eixos			
Tipo de Eixo	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ESRD	Eixo Tras. ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ETD	Eixo Tras. ETT	
Média Peso p/ Eixo (ton.)	3,33	4,62	3,32	7,46	3,86	6,95	4,02	8,97	4,82	19,83	4,93	7,92	19,92	5,15	14,18	19,75	
VMDa Classe Ano 1	70		69		159		601		15		144			287			
(%) VMDa Classe FE	50,3597%		49,6403%		13,1950%		49,8340%		1,2448%		11,9502%			23,7759%			
FC	0,026	0,085	0,025	0,054	0,049	0,497	0,058	0,364	0,127	2,922	0,140	0,874	2,974	0,169	3,515	2,876	
Soma FC	0,1109		0,0797		0,5459		0,4223		3,0492		3,9887			6,5604			
FV = FE x FC	0,055862		0,039544		0,072037		0,210450		0,037956		0,476657			1,559785			
Soma FV	0,095407				2,356886												
(%) Vt Total	10,34226%				89,657738%												
Classe FV	0,009867				2,113131												
Total FV	2,122998																
Sentido Crescente - C																	
VMDa	1344 veic./h				Taxa	Projeção				Projeção							
VMDa Ônibus	139 veic./h				2,80%	Linear				Não Linear	Vm	Vt					
										-	0,0000 veic.						
										Linear	Vm	Vt			Σ Vt		
										164,3397	62.983,1900 veic.			62.983,1900			
VMDa Caminhão	1205 veic./h				3,70%	Linear				Não Linear	Vm	Vt					
										-	0,0000 veic.						
										Linear	Vm	Vt			Σ Vt		
										1.518,0831	5.541.003,3150 veic.			5.541.003,3150			
Período (P)	10 anos				FR = 1,2				Total (Σ Vt)								5.603.986,5050
Fator Adc. Traf. (f _{ad})	f _{ad}								14.276.704,1050								
Ônibus	1,05								Número N								1,43E+07 (operações equivalentes de Eixo Padrão)
Caminhão	1,08																

Tabela II. 1: Cenário de Simulação I – espessuras das camadas do pavimento.

Classe	Condições	Variação % entre Categorias de Caminhões				
		0%	10%	15%	20%	25%
A (2 Eixos)		13,195%	13,195%	13,195%	13,195%	13,195%
B-C-D (3 a 5 Eixos)		37,510%	42,440%	44,905%	47,369%	49,834%
D (5 Eixos - C3)		1,660%	1,494%	1,411%	1,328%	1,245%
E (6 Eixos - S3)		15,934%	14,340%	13,544%	12,747%	11,950%
Demais Cam. >= 6 Eixos		31,701%	28,531%	26,946%	25,361%	23,776%
Total (Caminhões)		89,658%	89,658%	89,658%	89,658%	89,658%
Número N		1,81E+07	1,66E+07	1,58E+07	1,50E+07	1,43E+07
Variação das Espessuras das Camadas dos Pavimentos						
<u>Método: CBR</u>						
Camadas Granulares (cm)	CBR (%)	K				
B: Base	60 - 80	1	15,00	15,00	15,00	15,00
h ₂₀ : Sub-Base	20	1	15,13	15,00	15,00	15,00
h ₈ : Reforço-Subleito	8	1	16,27	16,11	15,96	15,80
Subleito	5	III				
Revestimento Betuminoso (cm)						
CBUQ		2	10,00	10,00	10,00	10,00
H_{total}: (revestimento + base + sub-base + ref. subleito)			56,39	56,11	55,96	55,80
H ₂₀			28,98	28,86	28,79	28,72
H ₈			50,13	49,91	49,80	49,68
H ₅ (Hequivalente)			66,39	66,11	65,96	65,80
<u>Método: TECNAPAV</u>						
D: Deflexão admissível (10 ⁻² mm)			60,73	61,75	62,31	62,90
D _p : Deflexão de projeto (10 ⁻² mm)			46,61	47,00	47,21	47,43
Camada Betuminosa e Granular (cm)						
H _{CB} : Espessura mín. camada betuminosa			15,70	15,55	15,48	15,40
H _{CG} : Espessura mín. camada granular (base e sub-base)			35,00	35,00	35,00	35,00
Solo Tipo I e II						
H _B : Espessura da base granular			-	-	-	-
H _{SB} : Espessura da sub-base			-	-	-	-
H_{total}: (revestimento + base + sub-base)			-	-	-	-
Solo Tipo III						
H _B : Espessura da base granular			17,50	17,50	17,50	17,50
H _{SB} : Espessura da sub-base			17,50	17,50	17,50	17,50
H _R : Espessura camada de reforço (solo)			30,00	30,00	30,00	30,00
H_{total}: (revestimento + base + sub-base + ref. subleito)			80,70	80,55	80,48	80,40
I ₁ : Constantes de resiliência - Subleito		0				
I ₂ : Contante de resiliência - Subleito		1				
VE: Valores estruturais		2				

Quadro II. 6: Cenário de Simulação II.A – variação de -12% dos valores peso por tipo de eixo.

Categoria	ÔNIBUS				VEÍCULOS DE CARGA													
	20		30		A (2 Eixos)		B-C-D (3 a 5 Eixos)		D (5 Eixos - C3)		E (6 Eixos - S3)			Demais Cam. >= 6 Eixos				
Tipo de Eixo	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ESRD	Eixo Tras. ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ETD	Eixo Tras. ETT		
Média Peso p/ Eixo (ton.)	2,93	4,07	2,92	6,56	3,40	6,12	3,54	7,89	4,24	17,45	4,34	6,97	17,53	4,53	12,48	17,38		
VMDa Classe Ano 1	70		69		159		452		20		192			382				
(%) VMDa Classe FE	50,3597%		49,6403%		13,1950%		37,5104%		1,6598%		15,9336%			31,7012%				
FC	0,015	0,049	0,015	0,032	0,028	0,286	0,033	0,193	0,073	1,782	0,081	0,503	1,814	0,097	1,867	1,754		
Soma FC	0,0639		0,0466		0,3143		0,2269		1,8549		2,3977			3,7177				
FV = FE x FC	0,032158		0,023125		0,041469		0,085102		0,030786		0,382035			1,178557				
Soma FV	0,055283				1,717949													
(%) Vt Total	10,34226%				89,657738%													
Classe FV	0,005717				1,540274													
Total FV	1,545992																	
Sentido Crescente - C																		
VMDa	1344 veic./h				Taxa	Projeção		Projeção										
VMDa Ônibus	139 veic./h				2,80%	Linear		Não Linear	Vm	Vt								
							-		0,0000 veic.									
							Linear	Vm	Vt			Σ Vt						
							164,3397 veic./dia		62.983,1900 veic.			62.983,1900						
VMDa Caminhão	1205 veic./h				3,70%	Linear		Não Linear	Vm	Vt								
							-		0,0000 veic.									
							Linear	Vm	Vt			Σ Vt						
							1.518,0831 veic./dia		5.541.003,3150 veic.			5.541.003,3150						
Período (P)	10 anos				FR = 1,2											Total (Σ Vt)	5.603.986,5050	
Fator Adc. Traf. (f _{ad})	f _{ad}																	
Ônibus	1,05																	
Caminhão	1,08																	
					Número N												10.396.461,3655	1,04E+07 (operações equivalentes de Eixo Padrão)

Quadro II. 7: Cenário de Simulação II.B – variação de -2% dos valores peso por tipo de eixo.

Categoria	ÔNIBUS				VEÍCULOS DE CARGA											
	20		30		A (2 Eixos)		B-C-D (3 a 5 Eixos)		D (5 Eixos - C3)		E (6 Eixos - S3)			Demais Cam. >= 6 Eixos		
Tipo de Eixo	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ESRD	Eixo Tras. ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ETD	Eixo Tras. ETT
Média Peso p/ Eixo (ton.)	3,26	4,53	3,25	7,31	3,78	6,81	3,94	8,79	4,72	19,43	4,83	7,76	19,52	5,05	13,90	19,36
VMDa Classe Ano 1	70		69		159		452		20		192			382		
(%) VMDa Classe FE	50,3597%		49,6403%		13,1950%		37,5104%		1,6598%		15,9336%			31,7012%		
FC	0,024	0,078	0,023	0,050	0,045	0,456	0,053	0,330	0,116	2,701	0,128	0,801	2,749	0,155	3,180	2,659
Soma FC	0,1017		0,0732		0,5003		0,3828		2,8175		3,6787			5,9944		
FV = FE x FC	0,051194		0,036329		0,066016		0,143585		0,046764		0,586144			1,900297		
Soma FV	0,087523				2,742806											
(%) Vt Total	10,34226%				89,657738%											
Classe FV	0,009052				2,459138											
Total FV	2,468190															
Sentido Crescente - C																
VMDa	1344 veic./h				Taxa	Projeção		Projeção								
VMDa Ônibus	139 veic./h				2,80%	Linear		Não Linear	Vm	Vt						
								-	0,0000 veic.							
							Linear	Vm	Vt			Σ Vt				
								164,3397 veic./dia	62.983,1900 veic.			62.983,1900				
VMDa Caminhão	1205 veic./h				3,70%	Linear		Não Linear	Vm	Vt						
								-	0,0000 veic.							
							Linear	Vm	Vt			Σ Vt				
								1.518,0831 veic./dia	5.541.003,3150 veic.			5.541.003,3150				
Período (P)	10 anos		FR = 1,2		Total (Σ Vt) 5.603.986,5050											
Fator Adc. Traf. (f _{ad})	f _{ad}				Número N 16.598.041,0956											
Ônibus	1,05				1,66E+07 (operações equivalentes de Eixo Padrão)											
Caminhão	1,08															

Quadro II. 8: Cenário de Simulação II.C – variação de +2% dos valores peso por tipo de eixo.

Categoria	ÔNIBUS				VEÍCULOS DE CARGA												
	20		30		A (2 Eixos)		B-C-D (3 a 5 Eixos)		D (5 Eixos - C3)		E (6 Eixos - S3)			Demais Cam. >= 6 Eixos			
Tipo de Eixo	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ESRD	Eixo Tras. ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ETD	Eixo Tras. ETT	
Média Peso p/ Eixo (ton.)	3,40	4,71	3,39	7,61	3,94	7,09	4,10	9,15	4,92	20,23	5,03	8,08	20,32	5,25	14,46	20,15	
VMDa Classe Ano 1	70		69		159		452		20		192			382			
(%) VMDa Classe FE	50,3597%		49,6403%		13,1950%		37,5104%		1,6598%		15,9336%			31,7012%			
FC	0,028	0,093	0,028	0,059	0,053	0,542	0,063	0,402	0,138	3,158	0,153	0,952	3,214	0,184	3,877	3,108	
Soma FC	0,1208		0,0866		0,5947		0,4650		3,2960		4,3192			7,1690			
FV = FE x FC	0,060852		0,042972		0,078471		0,174424		0,054705		0,688210			2,272662			
Soma FV	0,103823				3,268472												
(%) Vt Total	10,34226%				89,657738%												
Classe FV	0,010738				2,930438												
Total FV	2,941175																
Sentido Crescente - C																	
VMDa	1344 veic./h				Taxa	Projeção		Projeção									
VMDa Ônibus	139 veic./h				2,80%	Linear		Não Linear	Vm	Vt							
								-	0,0000 veic.								
							Linear	Vm	Vt			Σ Vt					
								164,3397 veic./dia	62.983,1900 veic.			62.983,1900					
VMDa Caminhão	1205 veic./h				3,70%	Linear		Não Linear	Vm	Vt							
								-	0,0000 veic.								
							Linear	Vm	Vt			Σ Vt					
								1.518,0831 veic./dia	5.541.003,3150 veic.			5.541.003,3150					
Período (P)	10 anos				FR = 1,2		Total (Σ Vt)									5.603.986,5050	
Fator Adc. Traf. (f _{ad})	f _{ad}																
Ônibus	1,05																
Caminhão	1,08																
					Número N												19.778.769,1531
																	1,98E+07 (operações equivalentes de Eixo Padrão)

Quadro II. 9: Cenário de Simulação II.D – variação de +2% dos valores peso por tipo de eixo.

Categoria	ÔNIBUS				VEÍCULOS DE CARGA													
	20		30		A (2 Eixos)		B-C-D (3 a 5 Eixos)		D (5 Eixos - C3)		E (6 Eixos - S3)			Demais Cam. >= 6 Eixos				
Tipo de Eixo	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ESRD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETD	Eixo Diant. ESRS	Eixo Tras. ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ESRD	Eixo Tras. ETT	Eixo Diant. ESRS	Eixo Cent. ETD	Eixo Tras. ETT		
Média Peso p/ Eixo (ton.)	3,73	5,17	3,72	8,36	4,32	7,78	4,50	10,05	5,40	22,21	5,52	8,87	22,31	5,77	15,88	22,12		
VMDa Classe Ano 1	70		69		159		452		20		192			382				
(%) VMDa Classe FE	50,3597%		49,6403%		13,1950%		37,5104%		1,6598%		15,9336%			31,7012%				
FC	0,042	0,139	0,041	0,087	0,079	0,811	0,095	0,638	0,207	4,558	0,229	1,427	4,638	0,276	6,159	4,487		
Soma FC	0,1810		0,1282		0,8908		0,7330		4,7650		6,2936			10,9219				
FV = FE x FC	0,091147		0,063634		0,117538		0,274962		0,079087		1,002794			3,462393				
Soma FV	0,154781				4,936773													
(%) Vt Total	10,34226%				89,657738%													
Classe FV	0,016008				4,426199													
Total FV	4,442207																	
Sentido Crescente - C																		
VMDa	1344 veic./h				Taxa	Projeção		Projeção										
VMDa Ônibus	139 veic./h				2,80%	Linear		Não Linear	Vm	Vt								
								-	0,0000 veic.									
							Linear	Vm	Vt			Σ Vt						
								164,3397 veic./dia	62.983,1900 veic.			62.983,1900						
VMDa Caminhão	1205 veic./h				3,70%	Linear		Não Linear	Vm	Vt								
								-	0,0000 veic.									
							Linear	Vm	Vt			Σ Vt						
								1.518,0831 veic./dia	5.541.003,3150 veic.			5.541.003,3150						
Período (P)	10 anos				FR = 1,2											Total (Σ Vt)	5.603.986,5050	
Fator Adc. Traf. (f _{ad})	f _{ad}																	
Ônibus	1,05																	
Caminhão	1,08																	
							29.872.883,1576									Número N		2,99E+07 (operações equivalentes de Eixo Padrão)

Tabela II. 2: Cenário de Simulação II – espessuras das camadas do pavimento

Classe	Tipo Eixo	Variação % dos Pesos				
		-12%	-2%	0%	2%	12%
20	Eixo Diant. ESRS	2,93	3,26	3,33	3,40	3,73
	Eixo Tras. ESRD	4,07	4,53	4,62	4,71	5,17
30	Eixo Diant. ESRS	2,92	3,25	3,32	3,39	3,72
	Eixo Tras. ETD	6,56	7,31	7,46	7,61	8,36
A (2 Eixos)	Eixo Diant. ESRS	3,40	3,78	3,86	3,94	4,32
	Eixo Tras. ESRD	6,12	6,81	6,95	7,09	7,78
B-C-D (3 a 5 Eixos)	Eixo Diant. ESRS	3,54	3,94	4,02	4,10	4,50
	Eixo Tras. ETD	7,89	8,79	8,97	9,15	10,05
D (5 Eixos - C3)	Eixo Diant. ESRS	4,24	4,72	4,82	4,92	5,40
	Eixo Tras. ETT	17,45	19,43	19,83	20,23	22,21
E (6 Eixos - S3)	Eixo Diant. ESRS	4,34	4,83	4,93	5,03	5,52
	Eixo Cent. ESRD	6,97	7,76	7,92	8,08	8,87
	Eixo Tras. ETT	17,53	19,52	19,92	20,32	22,31
Demais Cam. >= 6 Eixos	Eixo Diant. ESRS	4,53	5,05	5,15	5,25	5,77
	Eixo Cent. ETD	12,48	13,90	14,18	14,46	15,88
	Eixo Tras. ETT	17,38	19,36	19,75	20,15	22,12
Número N		1,04E+07	1,66E+07	1,81E+07	1,98E+07	2,99E+07
Variação das Espessuras das Camadas dos Pavimentos						
<u>Método: CBR</u>						
Camadas Granulares (cm)	CBR (%)	K				
B: Base	60 - 80	1	15,00	15,00	15,00	15,00
h ₂₀ : Sub-Base	20	1	15,00	15,00	15,13	15,34
h ₈ : Reforço-Subleito	8	1	15,00	16,11	16,27	16,34
Subleito	5	III				
Revestimento Betuminoso (cm)						
CBUQ		2	10,00	10,00	10,00	10,00
H_{total}: (revestimento + base + sub-base + ref. subleito)			55,00	56,11	56,39	56,67
H ₂₀			28,21	28,86	28,98	29,10
H ₈			48,80	49,91	50,13	50,34
H ₅ (Hequivalente)			64,64	66,11	66,39	66,67
<u>Método: TECNAPAV</u>						
D: Deflexão admissível (10 ⁻² mm)			67,43	61,75	60,73	59,75
D _p : Deflexão de projeto (10 ⁻² mm)			49,10	47,00	46,61	46,24
Camada Betuminosa e Granular (cm)						
H _{CB} : Espessura mín. camada betuminosa			14,82	15,56	15,70	15,84
H _{CG} : Espessura mín. camada granular (base e sub-base)			35,00	35,00	35,00	35,00
Solo Tipo I e II						
H _B : Espessura da base granular			-	-	-	-
H _{SB} : Espessura da sub-base			-	-	-	-
H_{total}: (revestimento + base + sub-base)			-	-	-	-
Solo Tipo III						
H _B : Espessura da base granular			17,50	17,50	17,50	17,50
H _{SB} : Espessura da sub-base			17,50	17,50	17,50	17,50
H _R : Espessura camada de reforço (solo)			30,00	30,00	30,00	30,00
H_{total}: (revestimento + base + sub-base + ref. subleito)			79,82	80,56	80,70	80,84
I ₁ : Constantes de resiliência - Subleito			0			
I ₂ : Contante de resiliência - Subleito			1			
VE: Valores estruturais			2			

Tabela II. 3: Cenário III – espessuras das camadas de pavimento.

Camada	CBR (%)					
Reforço do subleito: n	5					
Subleito: m	2					
Método	Camadas (cm)	H _{total}	H _{Equivalente}			
CBR	R	B	h ₂₀	h _n	104,84	114,84
	10,00	15,00	31,39	48,45		
TECNAPV	H _{CB}	H _B	H _{SB}	H _R	144,13	114,84
	39,92	17,50	17,50	69,21		

Camada	CBR (%)					
Reforço do subleito: n	6					
Subleito: m	3					
Método	Camadas (cm)	H _{total}	H _{Equivalente}			
CBR	R	B	h ₂₀	h _n	80,11	90,11
	10,00	15,00	24,54	30,58		
TECNAPV	H _{CB}	H _B	H _{SB}	H _R	106,24	90,11
	27,56	17,50	17,50	43,68		

Camada	CBR (%)					
Reforço do subleito: n	7					
Subleito: m	4					
Método	Camadas (cm)	H _{total}	H _{Equivalente}			
CBR	R	B	h ₂₀	h _n	65,87	75,87
	10,00	15,00	19,29	21,58		
TECNAPV	H _{CB}	H _B	H _{SB}	H _R	86,26	75,87
	20,44	17,50	17,50	30,83		

Camada	CBR (%)					
Reforço do subleito: n	8					
Subleito: m	5					
Método	Camadas (cm)	H _{total}	H _{Equivalente}			
CBR	R	B	h ₂₀	h _n	56,39	66,39
	10,00	15,00	15,13	16,27		
TECNAPV	H _{CB}	H _B	H _{SB}	H _R	80,70	66,39
	15,70	17,50	17,50	30,00		

Camada	CBR (%)					
Reforço do subleito: n	9					
Subleito: m	6					
Método	Camadas (cm)	H _{total}	H _{Equivalente}			
CBR	R	B	h ₂₀	h _n	55,00	59,54
	10,00	15,00	15,00	15,00		
TECNAPV	H _{CB}	H _B	H _{SB}	H _R	43,54	59,54
	12,27	17,50	17,50	-		

Camada	CBR (%)						
Reforço do subleito: n	10						
Subleito: m	7						
Método	Camadas (cm)				H_{total}	H_{Equivalente}	
CBR	R	B	h₂₀	h_n			
	10,00	15,00	15,00	15,00	55,00	54,29	
TECNAPV	H_{CB}	H_B	H_{SB}	H_R			
	8,54	15,19	15,19	-	38,92	54,29	

Camada	CBR (%)						
Reforço do subleito: n	11						
Subleito: m	8						
Método	Camadas (cm)				H_{total}	H_{Equivalente}	
CBR	R	B	h₂₀	h_n			
	10,00	15,00	15,00	15,00	55,00	50,13	
TECNAPV	H_{CB}	H_B	H_{SB}	H_R			
	8,54	13,11	13,11	-	34,76	50,13	

**HANDERSON LUIZ SAGGIORO FERREIRA
JOÃO VITOR GUIMARÃES ARRUDA DE OLIVEIRA**

**ESTUDO DE CASO - PLANEJAMENTO PARA REDUÇÃO
DE CUSTOS NA REFORMA DO PRÉDIO DA VIGILÂNCIA
AMBIENTAL NO MUNICÍPIO DE PARAIBA DO SUL-RJ**

Trabalho de Conclusão de Curso – TCC –
apresentado ao curso de Engenharia Civil da
Faculdade Vértix Trirriense, como requisito
parcial à obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Leonardo Martins Sleutjes

Linha de pesquisa: Gestão e Economia da
Construção

**TRÊS RIOS
2023**

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todos que, de maneiras singulares, contribuíram para a conclusão deste trabalho de conclusão de curso. Este projeto representa não apenas o encerramento de uma etapa acadêmica, mas também uma jornada marcada por apoio, estímulo e dedicação.

Primeiramente, minha querida vó Zélia, a base sólida em que construí minha vida. Seu amor, sabedoria e apoio constante foram a luz que me guiou durante toda a minha trajetória acadêmica. Cada conquista é, de alguma forma, um reflexo da sua influência positiva em minha vida.

Ao meu pai, Edmilson, agradeço por sempre buscar meu bem-estar e por ser uma fonte inesgotável de inspiração. Sua dedicação à minha felicidade e sucesso moldou a minha ética de trabalho e a minha busca constante por excelência.

À minha mãe, Aline, e ao meu padrasto, Jonas, expresso minha gratidão profunda. Ambos desempenharam um papel fundamental na minha escolha pela engenharia civil e sempre estiveram presente para me orientar nos desafios acadêmicos. O apoio incondicional de ambos foi um pilar essencial para minha jornada acadêmica.

À minha tia Analu, agradeço pelo apoio incansável e incentivo que me permitiram focar nos meus estudos. Sua presença significou mais do que palavras podem expressar, proporcionando um suporte que contribuiu para o meu sucesso.

Por fim, agradeço à minha noiva Bianca, que demonstrou uma paciência infinita e uma motivação constante. Nos momentos desafiadores, sua presença foi um farol de positividade, incentivando-me a persistir mesmo diante das dificuldades.

Cada um de vocês desempenhou um papel vital nesta jornada, moldando não apenas meu percurso acadêmico, mas também meu crescimento como indivíduo. Este trabalho é dedicado a vocês, fontes inestimáveis de apoio, amor e inspiração. Muito obrigado por fazerem parte desta conquista.

Com todo amor,

João Vitor Guimarães Arruda de Oliveira.

Agradeço a Deus, fonte de toda sabedoria e força, pelo o Dom da vida e por guiar meus passos ao longo desta jornada acadêmica. Sua luz iluminou meu caminho, proporcionando-me discernimento e perseverança para enfrentar os desafios ao longo deste curso.

Aos meus amados pais, Luiz Alberto e Regina, expresso minha gratidão profunda. Seu apoio incondicional e amor foram pilares essenciais para minha conquista. A presença constante de vocês foi o alicerce que sustentou meu empenho e dedicação.

À minha amada esposa, Adriane, meu coração transborda de agradecimento pelas noites de espera, aguardando o meu retorno para casa. Seu suporte incansável, compreensão e encorajamento foram a inspiração que impulsionou cada página desta nova história. Sua presença tornou cada desafio mais leve e cada vitória mais significativa.

À minha família e amigos, compartilho meu reconhecimento pela compreensão e paciência demonstradas nos momentos em que minha atenção estava voltada para esta empreitada acadêmica. Sua compreensão e incentivo foram fundamentais para a realização deste projeto.

À Defesa Civil pela oportunidade de aprendizado e colaboração, destacando a influência positiva na minha jornada acadêmica e pessoal. Ao meu amigo Wander que também merece reconhecimento pela valiosa parceria e apoio no desenvolvimento do meu estágio.

Expresso minha profunda gratidão aos colegas e professores da UNIVERTIX pela jornada enriquecedora, superando desafios que fortaleceram meu percurso acadêmico. Aos professores, meu especial agradecimento pela dedicação e compartilhamento de conhecimento.

Com alegria, agradeço a todos que tornaram mais essa conquista possível. Estou animado com as novas oportunidades e ansioso para aplicar meus conhecimentos na engenharia civil. Este momento marca não apenas o fim de um capítulo, mas também a abertura de novas possibilidades.

Grato,

Handerson Luiz Saggiore Ferreira

RESUMO

JOÃO VITOR GUIMARÃES ARRUDA DE OLIVIEIRA, HANDERSON LUIZ SAGGIORO FERREIRA: **ESTUDO DE CASO - PLANEJAMENTO PARA REDUÇÃO DE CUSTOS NA REFORMA DO PRÉDIO DA VIGILÂNCIA AMBIENTAL NO MUNICÍPIO DE PARAIBA DO SUL-RJ.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Faculdade Vértix – Univértix, Três Rios/RJ.

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresenta um estudo de caso que utiliza o método de análise de informações e aplica conceitos teóricos em uma situação prática de gestão de projetos na indústria da construção. O objetivo principal é explorar os conceitos de forma minuciosa, oferecendo esclarecimentos e apresentando perspectivas relevantes dentro do tema abordado, que é a redução de custos na reforma do prédio da Vigilância Ambiental no município de Paraíba do Sul-RJ. A metodologia utilizada neste estudo é qualitativa, pois os dados e medidas numéricas são usados para respaldar uma hipótese teórica, mas não são o ponto central do texto. Foram realizadas pesquisas utilizando palavras-chave relevantes, seguidas de uma avaliação dos artigos encontrados para determinar quais seriam apropriados como referências. A fundamentação teórica aborda temas como orçamento, custos diretos e indiretos, BDI, PERT/CPM na construção civil e controle de serviços. Os resultados e discussões destacam a eficácia do emprego da fundamentação teórica no planejamento de obra e no controle de serviços na construção civil. A aplicação do ciclo PDCA permitiu monitorar constantemente o desempenho das atividades, identificar desvios e tomar decisões adequadas para prevenir atrasos e gastos imprevistos. A metodologia PERT/CPM contribuiu para a elaboração de planos detalhados de projeto, minimizando problemas e atrasos. Como resultado, a entrega das obras ocorreu de forma mais eficiente e dentro dos prazos estabelecidos, contribuindo para a redução dos custos.

PALAVRAS-CHAVE: orçamentação, planejamento, redução de custos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxo do orçamento	16
Figura 2 - Composição de custo	18
Figura 3 - BDI em função do contrato	20
Figura 4 - BDI com relação entre preço e custo	21
Figura 5 - Fórmula do BDI.....	22
Figura 6 - Composição de custo com BDI	27
Figura 7- Estrutura da reforma.....	31
Figura 8 - Estrutura de reforma.....	32
Figura 9 - Planta de situação	32
Figura 10 - Planta de cobertura e implantação.....	33
Figura 11 - Corte B estrutural.....	33
Figura 12 - Gráfico PERT.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Composição de custo com BDI.....	23
Tabela 2 – Controle de materiais	28
Tabela 3 – Resumo da planilha orçamentaria	34
Tabela 4 – Comparação do custo real e BDI.....	35
Tabela 5 - PDCA	35
Tabela 6 - Atividades desempenhadas no gráfico PERT	36
Tabela 7 – Despesas e Receitas	37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 JUSTIFICATIVA	12
1.2 PROBLEMA DA PESQUISA	12
1.3 OBJETIVO	13
1.3.1 Objetivo Geral	13
1.3.2 Objetivos específicos	13
1.4 RELEVÂNCIA SOCIAL	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 ORÇAMENTO	14
2.1.1 Custo direto	18
2.1.2 Custo Indireto	19
2.2 BDI	19
2.3 PERT/CPM NA CONSTRUÇÃO CIVIL	24
2.4 CONTROLE DE SERVIÇOS	26
3 METODOLOGIA	30
3.1 PROJETO DE OBRA	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
4.1 ESTUDO DE CASO	34
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	39

1 INTRODUÇÃO

Na Grécia Antiga, Péricles, um estudioso do assunto financeiro, consolidou uma das teorias mais conhecidas sobre o tema, que trata sobre um grande programa de obras na cidade de Atenas, gerando emprego para a população local. Além disso, outro pesquisador da época foi Demóstenes, responsável por apresentar a frase clássica de que os recursos são necessários e, na sua ausência, nada daquilo que é necessário pode efetivamente ser realizado (GOLDMAN, 2004).

No dia a dia da construção civil, o questionamento sobre a capacidade do recurso ser suficiente para conclusão do projeto é uma das principais preocupações para todos os envolvidos. Dentro dessa realidade, por muitos anos, o orçamento se deu por meio de uma padronização, de modo que não fosse possível tornar esse orçamento maleável de acordo com fatores externos (SILVA e ZAFALON, 2019).

No entanto, nos dias atuais, o cálculo orçamentário passou a ter a mesma importância de um cálculo estrutural para determinada obra, visto que hoje as margens de atuação financeira se tornaram ainda menores, obrigando os profissionais do setor a trabalharem, quase sempre, em cima de uma linha tênue entre a entrega e a paralisação do projeto (GOLDMAN, 2004).

Se antigamente a falha no orçamento era vista como pouco relevante, hoje pode se tornar o grande ponto entre o sucesso e o fracasso de um projeto no setor de construção civil (GOLDMAN, 2004).

Junto a isso, a capacidade de competir está diretamente relacionado com a capacidade de produção e de gestão de determinado setor. Nisso, considera-se itens como taxas financeiras, valores brutos e o impacto de orçamentos realizados de forma equivocada no dia a dia do mercado (FILHO; ROCHA e SILVA, 2004).

Uma das características que torna o orçamento da construção civil mais difícil de ser realizado é o fato de não ser ofertado um produto único. Cada projeto realizado demanda particularidades de todos os profissionais envolvidos, incluindo fatores externos como clima ou temperatura. Nesse sentido, toda e qualquer alteração do projeto pode e deve influenciar diretamente o orçamento realizado, principalmente quando o mesmo é realizado sem uma boa base de planejamento. Segundo Koskela (2000), a construção civil precisa lidar, diariamente, com aspectos como a incerteza, variabilidade e a interdependência do seu ambiente de atuação.

Com isso, se torna essencial entender como o planejamento de obra pode tornar o custo final da mesma menor, dentro dos parâmetros esperados.

1.1 JUSTIFICATIVA

Diversas análises são realizadas diariamente para que a construção civil possa se manter como um dos setores mais importantes para a economia mundial. Essa manutenção se dá, principalmente, com a continuidade da relevância econômica, além dos índices de competitividade dentre as empresas do próprio setor (FILHO; ROCHA e SILVA, 2004).

O planejamento é parte fundamental desse processo, principalmente para assegurar que os processos sejam realizados dentro de uma margem orçamentária previamente definida. Apesar dos custos de um projeto sofrerem de variação constante a depender das suas particularidades, algumas dessas características podem e devem ser presumidas.

A redução de custos é um caminho natural, principalmente para que cada vez mais pessoas e empresas possam ter capacidade financeira de exercer determinado projeto. Para isso, se faz necessário entender quais as necessidades para que o planejamento possa auxiliar a redução de custos sem que o projeto perca a qualidade esperada e necessária (FILHO; ROCHA e SILVA, 2004).

1.2 PROBLEMA DA PESQUISA

O planejamento de obra e de projeto, apesar de ser a etapa principal e o primeiro passo para que determinado projeto saia do papel, precisa passar por uma reformulação no que diz respeito ao entendimento do orçamento final da demanda.

Muitas vezes, o orçamento acaba sendo realizado com base em itens padronizados, como valores fixos de materiais, mão de obra, necessidades de deslocamento e outros quesitos previamente definidos. No entanto, com o passar dos anos, o custo da obra passou a ser visto com outro olhar, com uma necessidade ainda maior de detalhamento sobre o mesmo (MENIN, 2007).

Para isso, o profissional de orçamentação precisa, antes de tudo, entender qual o planejamento que o projeto precisa seguir. Nesse sentido, o planejamento precisa estar adequado ao orçamento, assim como o orçamento precisa estar adequado ao projeto final.

A ausência do planejamento pode causar uma séria diferença nos valores finais do projeto, fazendo com que se torne uma problemática para ambos os lados.

1.3 OBJETIVO

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do presente trabalho é apresentar como o planejamento de obras atua para auxiliar na redução de custos dentro do mercado de construção civil.

1.3.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram determinados:

- Apresentar o conceito de orçamentação;
- Analisar a composição de custos de uma obra;
- Relacionar o planejamento de obra com a orçamentação;
- Reduzir custos através do planejamento.

1.3 RELEVÂNCIA SOCIAL

Trabalhos como este são importantes para que os profissionais do setor de engenharia civil, independentemente da área específica em que atuem, possam seguir o caminho indicado para realização de qualquer projeto: partir do planejamento de obra pensando na qualidade da orçamentação (MENIN, 2007).

Apesar dos projetos partirem das particularidades já citadas, o presente trabalho contribui para uma visão macro do planejamento, bem como para uma análise crítica dos valores tradicionalmente apresentados no mercado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ORÇAMENTO

Muitas vezes, os preços apresentados na execução de uma obra não estão de acordo com a realidade do mercado, o que pode ocorrer devido à competição ou à falta de conhecimento ou cálculo inadequado do orçamento ou licitação.

Contratar serviços com preços fora do que realmente custará a obra pode levar a prejuízos para o profissional e até mesmo encerrar suas atividades precocemente, conforme observado por Menin (2007). Portanto, quando contratado para um serviço, o profissional deve ter amplo conhecimento da legislação profissional, tributária e fiscal, bem como do mercado de materiais e mão de obra para fazer um cálculo adequado do preço dos seus serviços.

Existem diversas formas de calcular um orçamento, desde cálculos manuais simples até o uso de técnicas sofisticadas e modernas. No entanto, o mais importante é o resultado final: o preço unitário ou global do serviço. Para elaborar um orçamento, é necessário ter acesso a documentos como os projetos executivos completos da obra, o memorial descritivo, sua definição e os critérios de medição.

O orçamento pode ser definido como um cálculo realizado para determinar os gastos necessários para que uma obra ou um serviço de construção possam ser implementados corretamente. Assim, segundo Tisaka (2009), o orçamento pode ser classificado em dois tipos principais:

- Orçamento estimativo: cálculo realizado com base em um projeto mais simples, com grandes possibilidades de alteração posteriormente e sem levar em consideração detalhes específicos da construção;
- Orçamento definitivo: cálculo mais detalhista, realizado com base em um projeto executivo já aprovado e com todos os projetos complementares também definidos.

Para ser considerado como completo ou minimamente aceitável, o orçamento de obra precisa contar com as seguintes características, de acordo com (CARDOSO, 2020):

1. Indicar o custo global da obra, conforme exige o art 6º da lei 8666;
2. Apresentar os custos unitários de forma completa, com todos que integrem, de alguma forma, o preço final, conforme exige o art 7º da lei 8666;
3. Adequar os quantitativos da planilha com o projeto básico escolhido;
4. Apresentar a responsabilidade técnica do responsável pela elaboração do orçamento, no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia.

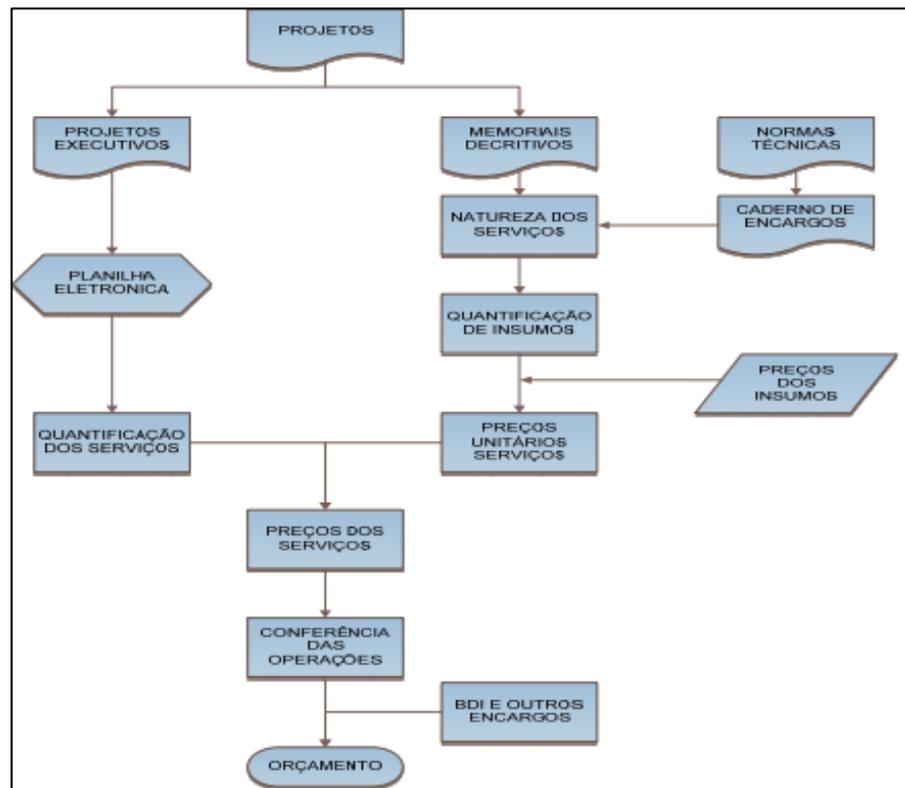
O orçamento passa por algumas etapas para que possa ser considerado como concluído. A primeira dessas etapas é o entendimento das condicionantes, ou seja, o projeto precisa ser orçado a partir da existência de determinado projeto previamente descrito. Por isso, nessa etapa, o profissional responsável pelo orçamento precisa realizar atividades como a leitura e o entendimento do projeto; leitura e entendimento das especificações técnicas e a visita técnica (XAVIER, 2008).

Segundo Xavier (2008), a visita técnica precisa ser obrigatória, para que se possa conhecer as mínimas condições do local de obra. Assim, seu principal objetivo é de sanar todas as dúvidas referentes ao projeto e realizar a avaliação das condições do ambiente como um todo.

Posteriormente, pode-se realizar a elaboração dos custos, onde se orça o necessário para cada serviço que integre a obra em questão. Assim, são identificadas suas origens e seus processos de quantificação. Na prática, o orçamento só pode ser dado como completo quando todos os serviços que devem ser realizados estão devidamente orçados (LIMA, 2000).

A figura 1 apresenta o fluxograma da criação e confirmação de um orçamento.

Figura 1 - Fluxo do orçamento



Fonte: Minichiello, 2007.

Conforme mencionado por Menin (2007), o processo de orçamento para a realização de obras e serviços na construção civil envolve os seguintes elementos ou etapas de cálculo:

- Quantificação dos serviços a serem realizados;
- Cálculo dos preços dos serviços, que envolve:
 - Coeficientes de produtividade;
 - Custos dos materiais necessários;
 - Custo de utilização dos equipamentos necessários;
 - Custo da mão-de-obra necessária para a realização do serviço;
 - Encargos sociais referentes à mão-de-obra.

De acordo com Xavier (2008), embora na construção civil a elaboração de orçamentos seja comumente condicionada à existência de um projeto básico ou executivo, nem sempre essa é a realidade. Muitas vezes, a única referência disponível para elaborar um orçamento é uma planta baixa e o que algumas empresas chamam de projeto executivo é, na verdade, apenas um projeto básico melhorado.

Durante a fase de estudo e entendimento das condicionantes, que é o momento em que se tornam conhecidas as condições de entorno da obra, são realizadas atividades como a leitura e entendimento do projeto e especificações técnicas e a visita técnica.

Para além do entendimento do projeto, é fundamental ter conhecimento das condições técnicas da obra em questão. Essas condições são documentos descritivos que fornecem informações qualitativas, incluindo a descrição dos materiais utilizados, o padrão de acabamento, a descrição da aplicação (conforme o caderno de encargos), as tolerâncias dimensionais dos elementos estruturais, critérios de recebimento de materiais e medição, além dos ensaios necessários para o processo de execução. (XAVIER, 2008).

O processo produtivo compreende o consumo de recursos, como matérias-primas e trabalho humano, bem como atividades de apoio indiretas, tais como transporte, marketing, vendas e manutenção. Todos esses elementos envolvem gastos financeiros que podem ser direcionados para a produção, seja de forma direta ou indireta. Portanto, os custos estão relacionados às atividades essenciais para a concretização do projeto.

Segundo Marchesan (2001), as deficiências nos sistemas de gestão de custos muitas vezes têm origem na fase de orçamentação, quando são utilizadas composições unitárias que não condizem com a realidade da empresa. Isso pode ocorrer devido ao emprego de coeficientes de consumo de materiais e mão-de-obra de origem desconhecida. O autor concorda que o planejamento da produção deve ser baseado em dados precisos que reflitam a capacidade operacional da empresa, bem como o consumo real dos recursos necessários para o processo produtivo.

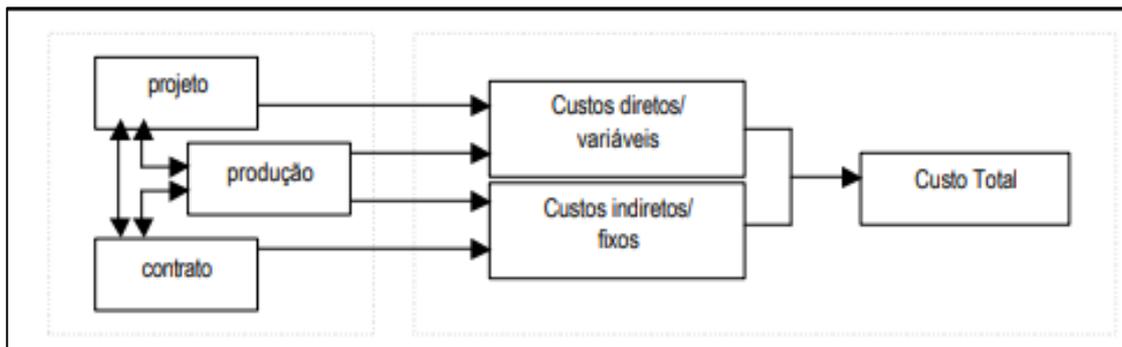
De acordo com Shank & Golvindarajam (1997, p. 21), no contexto do gerenciamento estratégico de custos, é sabido que estes são influenciados por múltiplos fatores que interagem de maneira complexa. Compreender o comportamento dos custos, portanto, requer uma análise detalhada dos diversos elementos que os afetam em uma determinada situação. Esses elementos são conhecidos como direcionadores de custo.

O TCU (2013) enfatiza a importância do detalhamento minucioso de todos os custos na definição dos preços de venda das obras públicas. No entanto, o processo de estimativa de custos enfrenta desafios na definição de critérios uniformes para a alocação dos custos necessários para estabelecer os preços das obras. A falta de

uma norma técnica específica aplicada à engenharia de custos historicamente levou a diferentes critérios adotados pelos orçamentistas na classificação e separação dos custos das obras.

A figura 2 apresenta a composição de custo de uma obra.

Figura 2- Composição de custo



Fonte: Kern, 2005.

2.1.1 Custo direto

O custo direto se resume como a soma de todos os custos básicos e unitários de cada serviço que se dá como necessário para que a construção do edifício possa se concretizar. Nesse sentido, o custo direto é obtido ao aplicar os insumos nos preços de mercado, considerando suas quantidades e o custo de infraestrutura necessária para alocar todos os materiais (KEM, 2005).

Em geral, para definir os custos diretos, utiliza-se de especificação de materiais e as quantidades necessárias para sua utilização. Ao mesmo tempo, também deve-se considerar o processo de produção, definindo custo de mobilização e operação, por exemplo.

O conceito de Custos Diretos abrange dois componentes principais, conforme descrito a seguir, de acordo com Tisaka (2009):

- O primeiro é o Custo Direto propriamente dito, que corresponde ao somatório de todas as despesas que serão incorporadas ao objeto principal do contrato, como por exemplo, construções, estradas, usinas, entre outros. Essas despesas são apresentadas na planilha de custos unitários, que detalha o custo de cada item utilizado na execução do projeto.

- O segundo componente é o Custo Indireto, que é composto pelos serviços auxiliares necessários para viabilizar a realização do objeto do contrato, tais como canteiro de obras, alojamentos, administração local, mobilização e desmobilização, e infraestrutura em geral. Esses custos indiretos são necessários para possibilitar a execução do projeto de forma adequada e devem ser considerados na composição do orçamento total do projeto.

2.1.2 Custo Indireto

Por outro lado, o custo indireto se caracteriza como gastos de infraestrutura que possuem a necessidade básica de dar consecução para o projeto. Ou seja, tudo aquilo que garante, fisicamente, que o projeto vai ser executado. Segundo Tisaka (2009), os principais custos indiretos são:

- Instalação do canteiro de obras;
- Instalação do acampamento de obras;
- Administração do local;
- Mobilização;
- Desmobilização.

2.2 BDI

O BDI se caracteriza como um indicador de qualidade do orçamento de obra, considerando contratantes e construtores envolvidos no projeto. Matematicamente, a taxa de BDI representa a taxa de benefícios e de despesas indiretas, calculada por meio da diferença entre preço e custo, diretamente relacionado ao custo, retirado em porcentagem (SILVA, 2006).

De acordo com Marco Gonzáles (2007), o BDI é dividido em duas partes: benefícios (B) e despesas indiretas (DI). A parcela de benefícios inclui o lucro e pró-labore dos diretores da empresa, bem como outros benefícios, como ampliação do espaço de atuação da empresa.

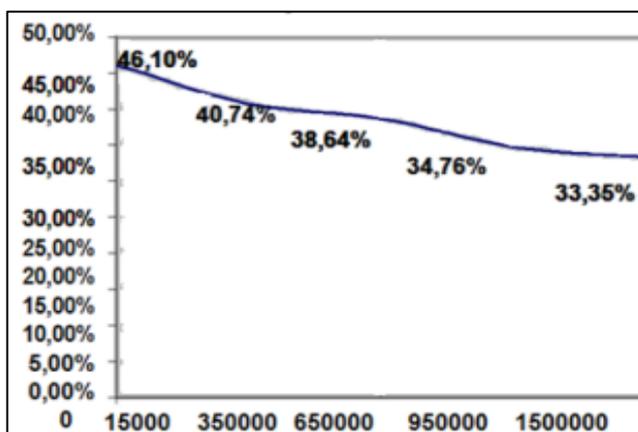
Já a parcela de despesas indiretas é composta pelos custos administrativos da empresa, tais como custos com sede (como juros sobre o capital investido na compra ou aluguel do prédio), mobiliário, telefone, funcionários, veículos e tributação em geral.

Segundo Menin (2007), o BDI é composto por cálculos de valores expressos em porcentagem, que indicam um índice a ser utilizado na elaboração de um orçamento de obra. Esses cálculos podem variar, o que altera a composição do BDI. Fatores como tipos de obras, valor do contrato, prazo de execução, faturamento da empresa e local da execução podem causar essas variações.

Antes de calcular o BDI, é necessário obter informações como o custo direto da obra, o local de execução, a distância à sede da empresa, o prazo de execução e o número de obras em andamento da empresa com seus respectivos valores e prazos de execução.

A figura 3 apresenta o BDI quando comparado com o valor do contrato final de uma obra.

Figura 3- BDI em função do contrato



Fonte: Dias, 2007.

O BDI é composto por despesas indiretas subdivididas em específicas e administrativas, taxa de risco, custo financeiro, tributos, taxa de comercialização e benefícios. É importante ressaltar que o BDI não deve ser confundido com lucro, pois é a remuneração das despesas adicionais de uma obra acrescida do benefício ou lucro (MENIN, 2007).

A determinação da taxa de despesa da Administração Central é uma questão polêmica no cálculo do LDI / BDI, uma vez que depende dos gastos de cada empresa,

que variam de acordo com seu porte e contratos administrados. O administrador público deve determinar a estrutura ideal a ser exigida da contratada para executar eficientemente o contrato proposto. As despesas da Administração Central englobam salários do pessoal administrativo e técnico lotado ou não na sede central, além de pró-labore de diretores, viagens, aluguéis, consumos de energia, água, gás, telefone fixo ou móvel, combustível, refeições, transporte, materiais de escritório e limpeza, seguros, entre outros.

A Administração deve avaliar tecnicamente a estrutura mínima a ser exigida da empresa, a fim de não comprometer a boa gestão do contrato, e avaliar os gastos aceitáveis para que a empresa possa executar a obra normalmente, sem estabelecer uma taxa arbitrariamente.

Para entender o que vem a ser o BDI, dois termos precisam estar bem definidos tanto para quem vai fazer quanto para quem vai receber o orçamento final, sendo: custo e despesa. Em geral, essa conceituação não é completamente unânime na literatura, mas possui alguns pontos considerados formalizados.

Primeiramente, o custo representa tudo aquilo envolvido no gasto para que a produção ocorra, ou seja, insumos como mão de obra e materiais, infraestrutura como canteiro de obras e administração local. Por outro lado, a despesa representa os gastos com comercialização do projeto, como, por exemplo, pagamento de impostos, salário de agentes comerciais, propostas técnicas, entre outros (TISAKA, 2009).

A figura 4 apresenta a forma mais tradicional de relacionar o BDI dentro de um orçamento realizado.

Figura 4– BDI com relação entre preço e custo

$$\text{BDI (\%)} = \frac{\text{preço} - \text{custo}}{\text{custo}} \times 100$$

Fonte: Silva, 2006.

Além disso, de acordo com Silva (2006), essa mesma equação pode ser dividida em outras equações matemáticas, a depender da relação proposta. Por

exemplo, para empreiteiras, a equação substitui o custo por custo direto, ou seja, o custo para produzir os serviços escolhidos.

O Benefício e Despesas Indiretas (BDI) podem ser adicionados como um percentual a ser aplicado em todos os preços unitários do orçamento, ou pode ser apresentado como uma verba geral, incluída ao final, ou ainda pode ser uma combinação das duas formas.

Quando o agente for a administração, o custo deve ser o custo-base, com o custo final do canteiro de obra. Por fim, ainda segundo a autora, a última opção é o BDI formal para as mesmas empreiteiras, onde o custo formal representa o custo direto dos itens que precisam ser discriminados na planilha de orçamentos.

Por outro lado, Tisaka (2009), apresenta a fórmula final do BDI para realização do cálculo, que pode ser visualizada na figura 5.

Figura 5– Fórmula do BDI

$$BDI = \left[\left(\frac{\left(1 + \frac{I}{100}\right) \left(1 + \frac{R}{100}\right) \left(1 + \frac{F}{100}\right)}{1 - \left(\frac{T + S + C + L}{100}\right)} \right) - 1 \right] \times 100 = \left[\left(\frac{(1+i)(1+r)(1+f)}{1 - (t+s+c+l)} \right) - 1 \right] \times 100 =$$

Fonte: Tisaka, 2009.

Para entendimento da fórmula, deve-se considerar as seguintes variáveis:

- Taxa de administração central: i;
- Taxa de risco do empreendimento: r;
- Taxa de custo financeiro do capital de giro: f;
- Taxa de tributos federais: t;
- Taxa de tributo municipal: s;
- Taxa de despesas de comercialização: c;
- Lucro ou remuneração líquida da empresa: L.

A tabela 1 apresenta um exemplo de composição de serviço com BDI.

Tabela 1– Composição de custo com BDI

DESCRIÇÃO		UNIDADE	CONSUMO	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
1	Areia	m ³	0,05	23	1,15
2	Cimento	saco	0,04	16,49	0,66
3	Rejunte	kg	0,284	1,5	0,43
4	Piso cerâmico 20 x20	m ²	1,05	13	13,65
5	Ladrilheiro	hora	1,75	6,39	11,43
6	Servente	hora	1,75	4,7	8,23
7	Encargos sociais (5 e 6)	%	127		24,97
8	BDI (1 a 7)	%	35		21,18
TOTAL DO SERVIÇO R\$					81,70

Fonte: GOLDMAN, 2004.

Após a elaboração do orçamento, é imprescindível realizar uma análise minuciosa para avaliar a precisão, coerência e competitividade (em caso de concorrência). De acordo com Morethson (1999), essa análise é ainda mais vital em concorrências públicas, pois os limites de preços, índices de produtividade e quebra de materiais são mais baixos, o que exige que os concorrentes estejam em condições competitivas para vencer a disputa.

É fundamental examinar todos os componentes do orçamento para tomar as decisões adequadas. É preciso analisar os materiais, a mão de obra, os equipamentos, as composições, os índices de produtividade, os preços unitários, os encargos sociais, o BDI, a duração da obra, entre outros fatores relevantes.

Algumas entidades governamentais federais têm substituído a sigla BDI por LDI (Lucros e Despesas Indiretas), embora a primeira seja mais comum e consagrada no meio empresarial e técnico. Embora haja uma pequena diferença conceitual, a análise de custos e preços é crucial para a concorrência no mercado da construção civil.

Com base no referencial teórico existente, e levando em conta alguns autores que abordam a metodologia BDI, o preço das obras de engenharia civil é basicamente composto por cinco itens, conforme descrito por Menin (2007): Administração Central, Despesas Financeiras, Garantias, Riscos, Seguros e Imprevistos, Lucro e Tributos.

2.3 PERT/CPM NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Popularmente chamado de Método do Caminho Crítico, trata-se de um conjunto de metodologias empregado na organização e monitoramento de empreendimentos e projetos (LAUGENI; MARTINS, 2005).

Conforme observado por Laugeni e Martins (2005), o método é empregado para o planejamento de uma produção de um produto singular e não repetitivo. Além disso, Moreira (2001) ressalta que as técnicas de PERT/CPM são especialmente úteis em situações nas quais os gerentes têm a responsabilidade de planejar, programar e controlar projetos que envolvem uma ampla gama de atividades e diversidade de mão de obra. Ambos os pontos de vista se aplicam perfeitamente ao objeto de estudo em questão, que é uma obra de construção civil.

De acordo com as explicações de Junior (2007), o PERT/CPM viabiliza a elaboração de uma lista das atividades de um projeto, identificando os momentos em que devem ser realizadas e quais delas são cruciais para evitar atrasos na entrega. Após analisar as dependências e durações dessas atividades, é possível determinar quais podem ser executadas simultaneamente ou em sequência.

Segundo Humphreys (2014), a ferramenta PERT/CPM possui diversos objetivos principais, incluindo:

- 1) minimizar problemas específicos dos projetos, como atrasos, gargalos no processo e interrupções de serviços;
- 2) adquirir conhecimento prévio sobre as atividades críticas, cujo cumprimento afeta a duração total do programa;
- 3) manter a administração informada sobre o desenvolvimento de cada etapa ou atividade do projeto, permitindo a identificação antecipada de fatores críticos que possam afetar o desempenho e facilitar a tomada de decisões adequadas;
- 4) estabelecer as datas de início ou conclusão das atribuições de cada evento envolvido;
- 5) ser uma ferramenta robusta para planejamento, coordenação e controle.

A principal distinção entre as técnicas reside na abordagem do tempo. O CPM é uma ferramenta de gestão que otimiza a sequência de atividades, com o objetivo de garantir a conclusão de um projeto dentro do prazo estabelecido. Ele parte do

pressuposto de que as estimativas de tempo são determinísticas e podem ser utilizadas para lidar com cenários complexos (LUIZ, 2011).

No entanto, em um projeto, há fatores imprevisíveis, como condições climáticas adversas, mão de obra, acidentes e atrasos na entrega de materiais, que podem afetar o cronograma da obra devido à incerteza inerente ao projeto.

A ferramenta PERT adota a abordagem em que a duração de cada atividade é tratada como uma variável aleatória associada a uma distribuição de probabilidade (LUIZ, 2011). O objetivo é tornar o prazo estimado para a realização das atividades mais realista, de modo a evitar impactos no cronograma.

Essa ferramenta é representada por meio de um diagrama de rede, que permite identificar o início de cada atividade, a duração de cada uma, as atividades em andamento simultaneamente e a interdependência entre elas. O tempo de cada atividade é modelado como uma variável aleatória com uma função de distribuição de probabilidade beta, que utiliza três estimativas de tempo: o tempo mais provável (o), o tempo otimista (p) e o tempo pessimista (m). Essas estimativas também são utilizadas para calcular a probabilidade de conclusão do projeto dentro de determinado prazo (NASA, 2013).

Para criar um gráfico PERT/CPM, é necessário compreender cada etapa do processo e identificar as atividades que estão inter-relacionadas. Uma atividade é considerada inter-relacionada com outra quando, por exemplo, a conclusão total da atividade A é necessária para iniciar o processo da atividade B. É relevante destacar que uma atividade pode depender de mais de uma outra para ser iniciada (AVILA; JUNGLES, 2013).

De acordo com Moreira (2008), há três tipos de estimativas utilizadas para determinar o tempo:

- a. Estimativa Otimista (a): representa o menor tempo que uma atividade pode consumir, considerando circunstâncias altamente favoráveis ao projeto.
- b. Estimativa Mais Provável (m): corresponde ao tempo resultante com base na execução da tarefa em várias ocasiões.
- c. Estimativa Pessimista (b): indica a maior duração esperada, levando em consideração todas as situações adversas que podem ocorrer.

2.4 CONTROLE DE SERVIÇOS

O controle dos serviços de obras exerce uma parcela importante na garantia de cumprimento do planejamento proposto. De modo amplo, é o processo em que se dá o sucesso do empreendimento, por isso, depende de capacitação completa dos profissionais envolvidos nesse processo (GOLDMAN, 2004).

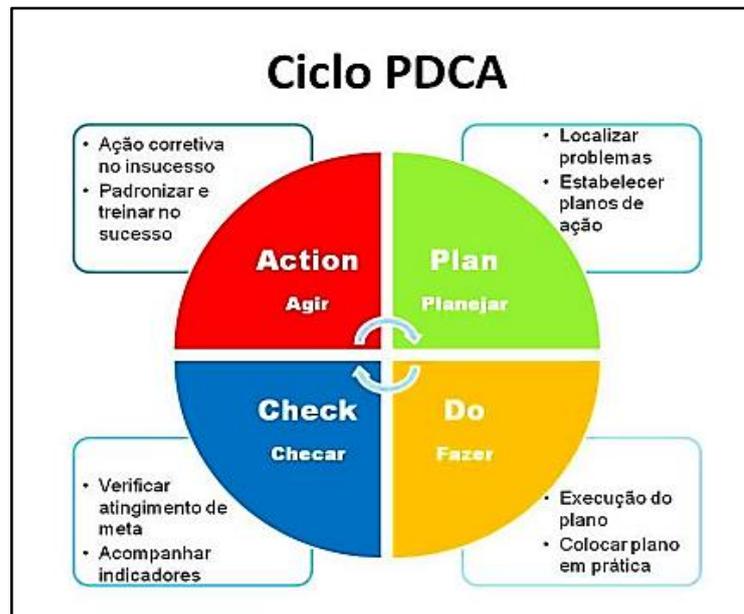
A organização é uma atividade que envolve a definição da melhor forma de utilizar os recursos físicos, humanos e financeiros para atingir o máximo desempenho. A direção, por sua vez, é o processo de determinar quando, como, onde, por quem e com quais recursos as tarefas planejadas devem ser executadas (XAVIER, 2008).

O ciclo PDCA é amplamente utilizado em diversos setores, incluindo a construção civil, como uma ferramenta para planejamento e controle de obras. Conforme definido por Queiroz (2001), o PDCA é um método de gerenciamento de processos ou sistemas que permite alcançar as metas definidas para os produtos dos sistemas empresariais.

De acordo com Bueno et al (2013), à medida que se identifica e soluciona cada problema no sistema de produção, ele é elevado a um nível mais avançado, já que todos os problemas são encarados de forma positiva, visto que representam oportunidades de aprimoramento do processo e alinhamento das diretrizes de controle. É nesse momento que se avalia a eficácia da meta planejada e a efetividade da nova diretriz, verificando-se se há eficiência. Caso seja constatada, essa eficiência será padronizada.

A figura 6 apresenta um exemplo de ciclo PDCA.

Figura 6 – Composição de custo com BDI



Fonte: Bueno, 2013.

Essa técnica da qualidade é amplamente utilizada para controlar e gerenciar atividades com o intuito de solucionar problemas. O Ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act, Planejar-Fazer-Verificar-Agir) também é amplamente difundido e empregado no setor da construção civil. Entretanto, somente o planejamento não é suficiente. É necessário monitorar as atividades e comparar os resultados reais com os planejados, além de definir previamente os métodos, prazos e recursos a serem utilizados.

Já o controle consiste em medir o resultado de uma operação e compará-lo com o padrão estabelecido para verificar se está dentro dos limites de tolerância predefinidos. O planejamento é um processo decisório interdependente que busca uma situação futura desejada, ou seja, as decisões tomadas no presente têm implicações no futuro.

De acordo com Goldman (2004), o controle de serviços deve ser executado por meio de subdivisões dentro do processo realizado, sendo:

- Controle do prazo de execução do serviço
- Controle das ferramentas de trabalho;
- Controle da quantidade de serviço produzido;
- Controle dos custos de cada insumo envolvido no processo;
- Controle da mão de obra necessária para execução da obra;

- Controle dos equipamentos necessários para dar auxílio na execução do projeto.

Ainda segundo o autor, a tabela 6 representa o que seria, de forma ideal, esse controle de materiais dentro do projeto. É importante ressaltar que sua utilização se dá, principalmente, para evitar que ocorra um tempo de ociosidade para os profissionais.

Tabela 2 – Controle de materiais

Quadro comparativo dos materiais									
PLANEJAMENTO					REAL				
Descrição	Quantidade	Início	Término	Prazo	Descrição	Quantidade	Início	Término	Prazo
Azulejo	500 m²	01.11.03	30.01.04	90 dias	Azulejo	550 m²	01.11.03	20.01.04	80 dias

Fonte: Goldman, 2004.

O planejamento é uma atividade que engloba diversas ações que precisam ser identificadas, analisadas, coordenadas e gerenciadas, a fim de produzir um plano de ação que contenha decisões antecipadas para o processo de execução da obra, incluindo organização, direção e controle.

Na organização, busca-se determinar a melhor forma de compor os recursos físicos, humanos e financeiros para alcançar o melhor desempenho. A direção é a ação que define quando, como, onde, por quem e com quais recursos devem ser executadas as tarefas planejadas. O controle, por sua vez, é a ação de medir o resultado de uma operação e comparar com o padrão estabelecido, a fim de verificar se atende aos limites de tolerância pré-estabelecidos (XAVIER, 2008).

O planejamento é um processo de tomada de decisões interdependentes que visa alcançar uma situação futura desejada, ou seja, as decisões tomadas no presente

têm implicações futuras. Em resumo, o planejamento é um método para definir a melhor sequência de ações que geram valor.

O gerenciamento eficaz de qualquer empreendimento envolve a coordenação dos recursos financeiros, mão-de-obra, equipamentos de apoio, tecnologia e materiais necessários. O objetivo principal é alcançar o melhor desempenho e qualidade da obra dentro do prazo e do custo estimados. O processo de gerenciamento abrange três fases principais: planejamento e orçamento da obra para concorrência na primeira fase, contratação e programação da obra na segunda fase e, finalmente, operação e controle da obra na terceira fase (XAVIER, 2008).

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa é um estudo de caso que utiliza o método de análise de informações e aplica conceitos teóricos em uma situação prática de gestão de projetos na indústria da construção. O objetivo deste estudo é explorar os conceitos de forma minuciosa, oferecendo esclarecimentos e apresentando perspectivas relevantes dentro do tema abordado, tornando-se, portanto, uma abordagem explicativa.

No que diz respeito à abordagem utilizada para lidar com o problema, trata-se de um método qualitativo, pois os dados e medidas numéricas utilizados ao longo da pesquisa são usados para respaldar uma hipótese teórica, mas não são o ponto central do texto.

Após selecionar os estudos utilizando termos-chave pertinentes, foi realizada uma avaliação inicial para identificar quais trabalhos seriam apropriados como referências para esta pesquisa. Durante essa avaliação, levaram-se em consideração os objetivos e resultados de cada estudo, a fim de compará-los com a proposta deste trabalho e determinar quais poderiam ser utilizados. O foco principal foi encontrar estudos que estivessem alinhados com os objetivos e requisitos desta pesquisa.

Este trabalho é essencialmente uma análise de caso, e sua pesquisa principal foi realizada em dois momentos distintos. Inicialmente, foi conduzida uma pesquisa na plataforma Google Scholar para encontrar referências teóricas que sustentassem a argumentação do problema em questão.

Para a pesquisa, utilizou-se de palavras-chave como: orçamentação, redução de custos, orçamento, entre outros. Para o resultado de cada pesquisa, realizou-se, ainda, uma triagem dos artigos encontrados, considerando seus objetivos e resultados, para definição se estavam de acordo com a proposta do trabalho.

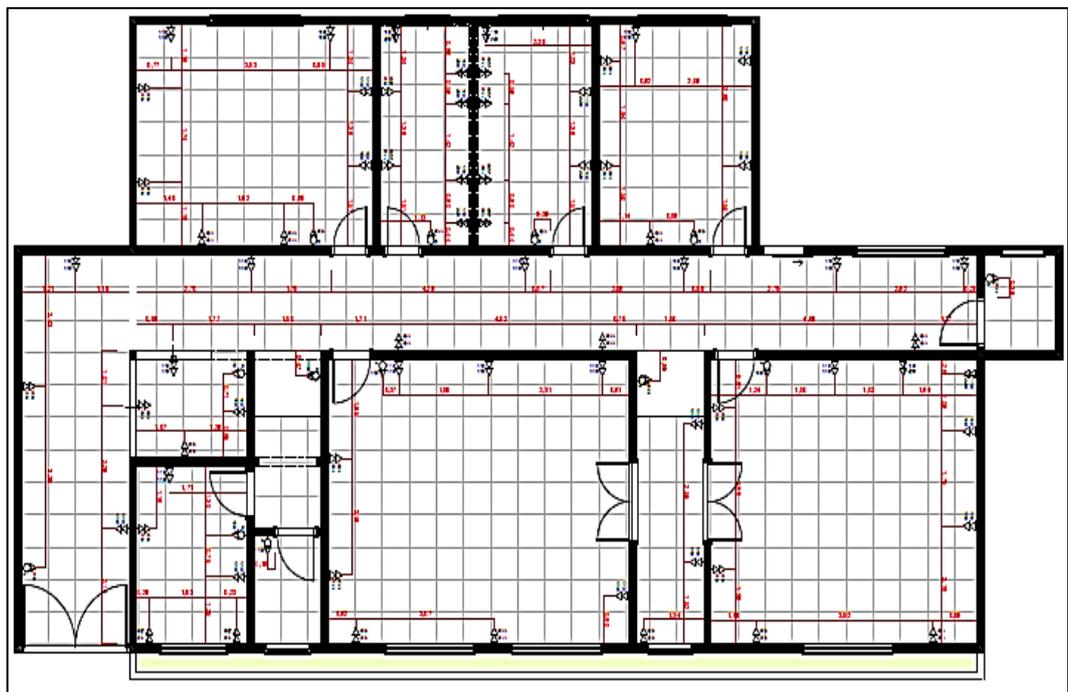
Todos os documentos e estudos descobertos foram submetidos a uma avaliação preliminar dos dados, a fim de examinar seus propósitos e conclusões, a fim de localizar fontes que sustentassem a delimitação do tema proposto. Por conseguinte, foram excluídos trabalhos que não estavam amplamente disponíveis e gratuitos nos mecanismos de pesquisa online.

3.1 PROJETO DE OBRA

O estudo de caso realizado se deu por meio de uma obra de reforma, caracterizado principalmente pelo objetivo de reduzir os custos dessa reforma, sem comprometer as necessidades da mesma.

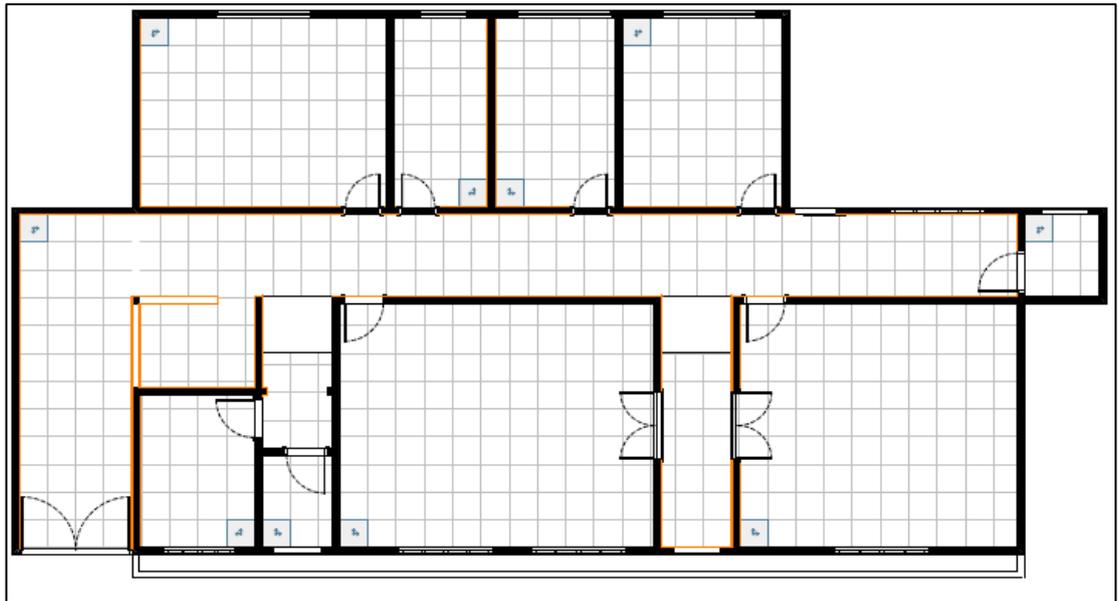
As figuras 7 e 8 apresentam o projeto de reforma com a estrutura do local a ser reformado.

Figura 7- Estrutura da reforma



Fonte: PMPS, 2023.

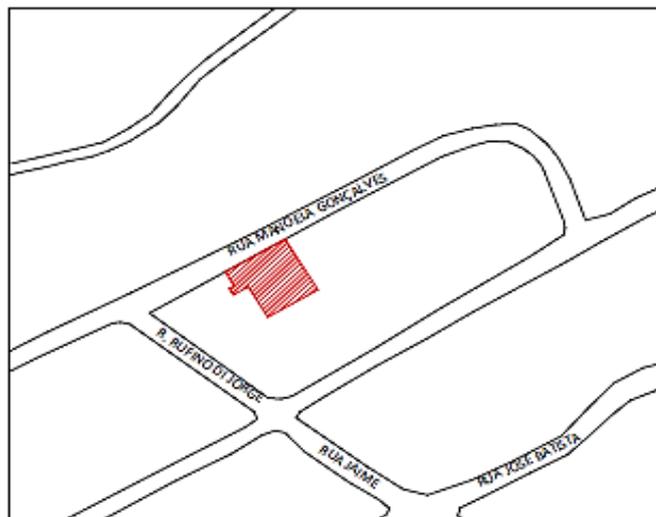
Figura 8- Estrutura de reforma



Fonte: PMPS, 2023.

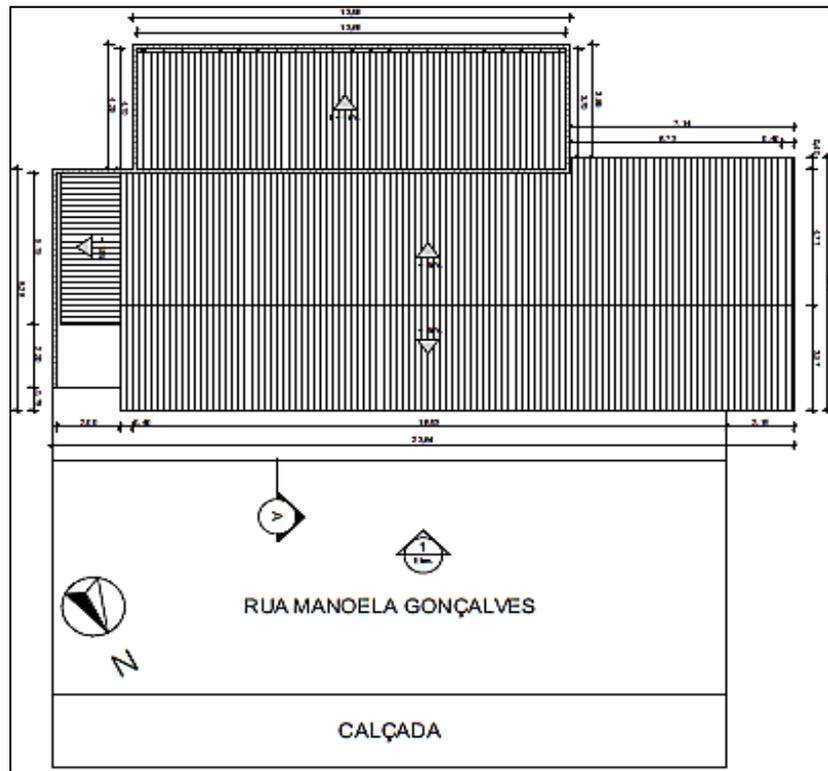
Além disso, convém identificar, ainda, outras visões da estrutura a ser reformada, de modo a entender a sua dimensão e o porte da obra por completo. Com isso, a figura 9 apresenta a planta de situação e as figuras 10 e 11 apresentam a planta de cobertura, e a fachada, com o corte frontal e a estrutura final.

Figura 9 - Planta de situação



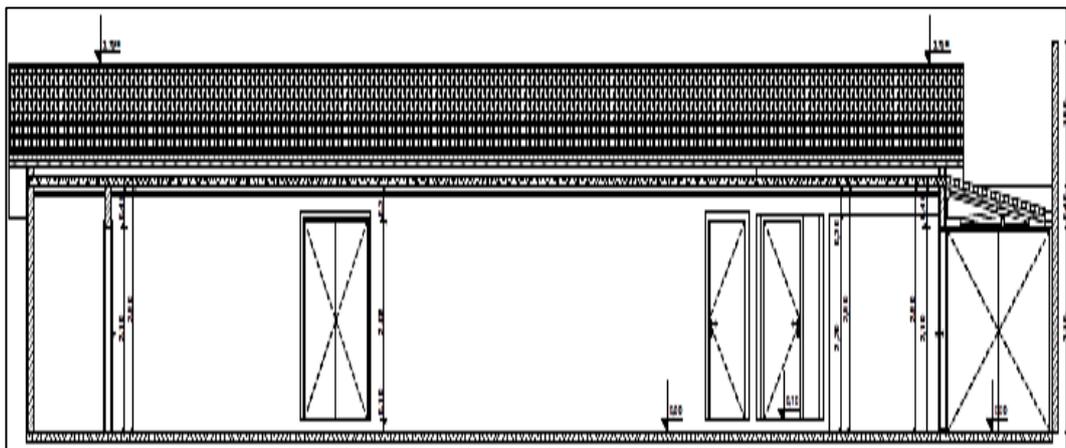
Fonte: PMPS, 2023.

Figura 10 - Planta de cobertura e implantação



Fonte: PMPS, 2023.

Figura 11 - Corte B estrutural



Fonte: PMPS, 2023.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ESTUDO DE CASO

A obra do projeto apresentado na metodologia foi realizada com uso de diversas ferramentas de planejamento com objetivo final de reduzir os custos.

Primeiramente fizemos a Comparação sobre a diferença do orçamento com ou sem o BDI. A tabela 3 apresenta o resumo da planilha orçamentaria.

Tabela 3 – Resumo da planilha orçamentaria

ITEM	RESUMO	TOTAL SEM BDI (R\$)	TOTAL COM BDI (R\$)	%
1.0	SERVIÇOS DE ESCRITÓRIO, LABORATÓRIO E CAMPO	R\$ 61,00	R\$ 77,40	0,02%
2.0	CANTEIRO DE OBRAS	R\$ 3.180,46	R\$ 4.035,37	1,23%
3.0	SERVIÇOS COMPLEMENTARES	R\$ 3.118,97	R\$ 3.957,35	1,21%
4.0	DEMOLIÇÃO E RETIRADA	R\$ 9.552,75	R\$ 12.120,53	3,70%
5.0	TRANSPORTES	R\$ 3.072,65	R\$ 3.898,58	1,19%
6.0	COBERTURA	R\$ 28.361,05	R\$ 35.984,50	10,99%
7.0	INSTALAÇÃO ELÉTRICA, HIDRÁULICA E SANITÁRIA	R\$ 53.904,16	R\$ 68.393,60	20,88%
8.0	REVESTIMENTOS DE PAREDE, TETO E PISO	R\$ 74.273,13	R\$ 94.237,75	28,77%
9.0	ESQUADRIAS DE FERRO, ALUMÍNIO OU MADEIRA, VIDRAÇAS E FERRAGENS	R\$ 41.656,85	R\$ 52.854,21	16,14%
10.0	EXPOSIÇÃO	R\$ 8.355,01	R\$ 10.600,84	3,24%
11.0	PAISAGISMO E ACESSIBILIDADE	R\$ 5.591,00	R\$ 7.093,86	2,17%
12.0	PINTURA	R\$ 27.012,49	R\$ 34.273,45	10,46%
TOTAL		R\$ 258.139,52	R\$ 327.527,44	100,00%

Fonte: O autor, 2023.

Dada a tabela 3, pode-se retirar a comparação de custo entre os valores encontrados, apresentados na tabela 4.

Tabela 4 – Comparação do custo real e BDI

VALOR TOTAL SEM BDI		R\$ 258.139,52
VALOR DO BDI	26,88%	R\$ 69.387,92
VALOR TOTAL COM BDI		R\$ 327.527,44
ÁREA CONSTRUIDA (m²)		
		203,18
VALOR POR M²		
		R\$ 1.612,01
PRAZO DA OBRA		
		5 meses

Fonte: O autor, 2023.

Antes do início da obra fizemos o planejamento através do ciclo PDCA conforme a tabela 5.

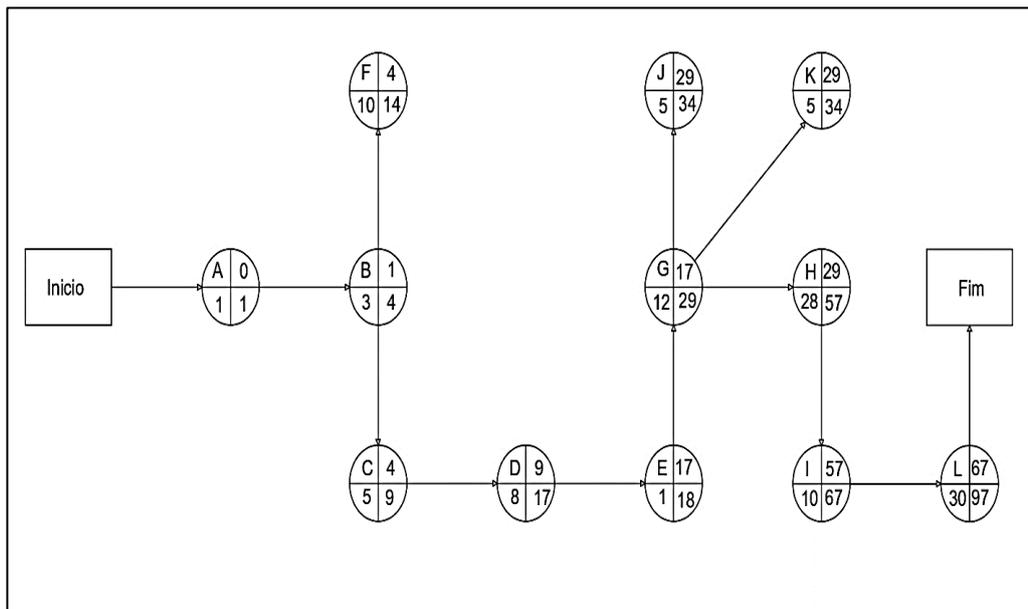
Tabela 5 - PDCA

Etapa do Ciclo PDCA	Descrição
Plan (Planejar)	- Definição do escopo da obra.
	- Estabelecimento de metas e objetivos.
	- Elaboração do plano de execução.
	- Análise de riscos e identificação de recursos necessários.
	- Definição das responsabilidades da equipe.
	- Planejamento de suprimentos e materiais.
Do (Executar)	- Mobilização da equipe de construção.
	- Início das atividades de construção.
	- Aquisição de materiais e equipamentos.
	- Acompanhamento do progresso da obra.
	- Monitoramento do uso de recursos.
Check (Verificar)	- Inspeções de qualidade durante a execução.
	- Comparação do progresso com o planejado.
	- Verificação do cumprimento de prazos.
	- Coleta de dados e feedback da equipe.
	- Identificação de desvios e problemas.
Act (Agir)	- Implementação de ações corretivas para resolver problemas identificados.
	- Ajustes no cronograma e orçamento, se necessário.
	- Introdução de melhorias e otimizações.
	- Comunicação das mudanças à equipe e partes interessadas.
	- Continuação do monitoramento do progresso e qualidade.

Fonte: O autor, 2023.

Em seguida aplicamos o gráfico PERT através da figura 12. Em seguida a figura 13 detalha as atividades realizadas de acordo com o gráfico.

Figura 12 - Gráfico PERT



Fonte: O autor, 2023.

Tabela 6 - Atividades desempenhadas no gráfico PERT

ATIVIDADES	DESCRIÇÃO	PRECEDENTE	DURAÇÃO (DIAS)
A	SERVIÇOS DE ESCRITORIO, LABORATORIO E CAMPO	-	1
B	CANTEIRO DE OBRAS	A	3
C	SERVIÇOS COMPLEMENTARES	B	5
D	DEMOLIÇÃO E RETIRADA	C	8
E	TRANSPORTES	D	1
F	COBERTURA	B	10
G	INSTALAÇÃO ELETRICA, HIDRAULICA E SANITARIA	E	12
H	REVESTIMENTOS DE PAREDE, TETO E PISO	G	28
I	ESQUADRIAS DE FERRO, ALUMINIO OU MADEIRA, VIDRAÇAS E FERRAGENS	H	10
J	EXPOSIÇÃO	G	5
K	PAISAGISMO E ACESSIBILIDADE	G	5
L	PINTURA	I	30

Fonte: O autor, 2023.

Com isso, ao final desta obra obtivemos uma redução de custos através da tabela 7, onde se tem a comparação de despesas e receitas.

Tabela 7 – Despesas e Receitas

DESPESAS E RECEITAS					
MÃO DE OBRA	MATERIAL	RECEITA BRUTA	RECEITA LÍQUIDA	LUCRO LIQUIDO	%
R\$ 79.959,97	R\$ 135.266,61	R\$ 327.527,44	R\$ 285.344,44	R\$ 70.118,47	24,57%

Fonte: o autor, 2023

O emprego efetivo da fundamentação teórica referente ao planejamento de obra e ao controle de serviços na construção civil revelou-se uma estratégia altamente eficaz na consecução do objetivo primordial de reduzir os custos de obras. Ao longo deste processo, observou-se uma ligação sólida entre as bases conceituais apresentadas e os resultados tangíveis alcançados no campo da construção civil.

Primeiramente, a correlação entre o Ciclo PDCA e a melhoria contínua do planejamento e controle de obras se mostrou evidente. Através da aplicação desse ciclo, foi possível monitorar constantemente o desempenho das atividades, comparando os resultados reais com as metas estabelecidas. Essa prática permitiu a identificação antecipada de desvios, facilitando a tomada de decisões adequadas e, conseqüentemente, a prevenção de atrasos e gastos imprevistos.

Além disso, a aplicação das metodologias PERT/CPM, conforme discutido na fundamentação teórica, desempenhou um papel fundamental na elaboração de planos detalhados de projeto. Isso permitiu uma identificação precisa das atividades críticas, suas interdependências e os momentos cruciais para a execução. A vantagem de tal abordagem foi a minimização de problemas específicos dos projetos, tais como atrasos e gargalos no processo, que frequentemente resultam em custos adicionais. Como resultado direto, a entrega das obras ocorreu de forma mais eficiente e dentro dos prazos estabelecidos, o que, por sua vez, contribuiu para a redução dos custos associados a horas extras, penalidades contratuais e aquisição emergencial de materiais.

Adicionalmente, as estimativas de tempo, incluindo as estimativas otimistas, mais prováveis e pessimistas, conforme abordadas na fundamentação teórica, desempenharam um papel crucial na mitigação de riscos e incertezas. Ao considerar cenários favoráveis e desfavoráveis, foi possível estabelecer orçamentos mais realistas e robustos. Isso evitou surpresas desagradáveis durante a execução das obras, onde os custos costumam disparar quando os prazos são estendidos devido a atrasos não previstos. O controle das estimativas também possibilitou uma gestão mais eficiente de recursos financeiros, resultando em economia de custos significativa.

Por fim, o controle de serviços, com suas subdivisões específicas, demonstrou ser um elemento-chave na garantia de que os recursos envolvidos em um projeto de construção civil fossem utilizados de forma eficiente. O monitoramento do prazo de execução, das ferramentas de trabalho, da quantidade de serviço produzido, dos custos de insumos, da mão de obra e dos equipamentos possibilitou uma gestão precisa e econômica desses recursos, evitando desperdícios e garantindo que a obra se mantivesse dentro do orçamento planejado.

Em suma, os resultados obtidos corroboraram a importância da aplicação da fundamentação teórica relacionada ao planejamento de obra e ao controle de serviços na construção civil. A integração desses conceitos não apenas reduziu os custos das obras, mas também melhorou a eficiência operacional, a qualidade dos projetos e a satisfação dos envolvidos. Dessa forma, a relação entre a teoria e os resultados concretos se revelou uma abordagem valiosa e imprescindível para o sucesso de empreendimentos na construção civil.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em conclusão, os resultados deste estudo reforçam de maneira convincente a importância e os benefícios inegáveis de um planejamento sólido e abrangente no contexto de projetos de construção. A redução significativa nos gastos da obra, como comprovado pelos dados e análises apresentados, destaca a relação direta entre uma fase de planejamento bem executada e o sucesso financeiro de todo o empreendimento.

Através da análise minuciosa de dados históricos, estimativas precisas e avaliação detalhada de riscos, é possível antecipar desafios potenciais, identificar soluções alternativas e alocar recursos de maneira mais eficiente. Isso não apenas resulta em economias tangíveis em termos de custos, mas também reduz retrabalhos, atrasos e alterações não planejadas, que frequentemente inflamam os orçamentos iniciais.

Além disso, um planejamento bem estruturado promove a transparência, comunicação eficaz e coordenação adequada entre todas as partes envolvidas no projeto. Isso cria uma sinergia que contribui para o andamento suave das operações e ajuda a evitar conflitos desnecessários que poderiam levar a custos adicionais.

No entanto, é importante ressaltar que o sucesso do planejamento não se limita apenas à etapa inicial do projeto. É crucial manter a flexibilidade ao longo do ciclo de vida da obra, pois as condições e circunstâncias podem evoluir. A capacidade de adaptar e ajustar o planejamento conforme necessário é tão essencial quanto o processo de planejamento em si.

Em última análise, este estudo oferece uma sólida validação de que investir tempo e recursos em um planejamento abrangente é uma estratégia prudente para otimizar os gastos em projetos de construção. Ao fazer isso, as partes interessadas podem não apenas alcançar resultados financeiros mais favoráveis, mas também contribuir para a criação de projetos bem-sucedidos, que atendam às expectativas de qualidade, prazo e orçamento de maneira equilibrada.

REFERÊNCIAS

AVILA, A. V.; JUNGLES, A. E. **Gestão do controle e planejamento de empreendimentos**. Florianópolis, 2013.

BUENO, Á.A., et al. CICLO PDCA. Pontifícia Universidade Católica de Goiás. **Departamento de engenharia administração e finanças para engenharia**. Goiânia 2013.

CARDOSO, Roberto Sales. **Orçamento de obras em foco**. 4ª ed. São Paulo, 2020.

DIAS, Paulo R. Vilela. **Metodologia de Orçamento de Obras: Novo Conceito para o BDI**. 1. ed. Rio de Janeiro: IBEC, 2007.

FILHO, José Ilo Pereira; ROCHA, Rudimar Antunes; SILVA, Lauren Moraes. **Planejamento e controle da produção na construção civil para gerenciamento de custos**. XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Florianópolis, 2004.

GOLDMAN, Pedrinho. **Introdução ao planejamento e controle de custos na construção civil brasileira**. 4ª ed. São Paulo, 2004.

GONZÁLEZ, Marco Aurélio Stumpf. **Noções de Orçamento e Planejamento de 49 Obras**. São Leopoldo – RS. 2008.

Humphreys, G. C. (2014). **Project management using earned value (3a ed.)**. USA: Humphreys & Associates.

KEM, Andrea Parisi. **Proposta de um modelo de planejamento e controle de custos de empreendimentos de construção**. Tese (Doutorado – Engenharia). Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

KOSKELA, L. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. 2000. 298 p. Tese (Doctor of Philosophy) - VTT Technical Research Centre of Finland. Helsinki University of Technology, Espoo, 2000.

LAUGENI, F. P.; MARTINS, P. G. **Administração da Produção**. 2 ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

Lei Federal 8.666, 21 de junho de 1993. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L8666cons.htm. Acesso em 10 maio. 2023.

LIMA, J.L.P. **Custos da construção civil**. Dissertação (Mestrado – Engenharia Civil. Universidade Federal Fluminense. 122f. Rio de Janeiro, 2000.

LUIZ, E. L. A. (2011). **Otimização da relação tempo custo na construção civil: um estudo de caso**. Ribeirão Preto: USP.

MARCHESAN, P. R. C. **Modelo integrado de gestão de custos e controle da produção para obras civis**. 2001. 163f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Universidade Federal do Rio grande do Sul. Porto Alegre, 2001.

MENIN, Gabriela Aparecida. **Composição do BDI (Benefícios e Despesas Indiretas) para Orçamento da Obra Civil**. Itatiba: UFS, 2007.

MINICHIELLO, Monique de Oliveira. **Qualidade no orçamento do custo direto de produção na construção civil**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação – Gerenciamento de obras de edificações). Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

MOREIRA, D. A. **Administração da produção e operações**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

MORETHSON, Fernando S. **Orçamento e custos da construção**. São Paulo: Hermus, 1999.

National Aeronautics and Space Administration. (2013). **Analytic Method for Probabilistic Cost and Schedule Risk Analysis**, Final Report.

Paraíba do Sul, Prefeitura Municipal de. Secretaria de Saúde. **Dados sobre os projetos do prédio**. Paraíba do Sul - RJ, 2023.

QUEIROZ, M. N.. **Programação e controle de obras**. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2001.

SHANK, J. K. & GOLVINDARAJAM, V. **A revolução dos custos: como reinventar e redefinir sua estratégia de custos para vencer em mercados crescentemente competitivos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

SILVA, Mozart Bezerra. **MANUAL DE BDI: Como incluir benefícios e despesas indiretas em orçamentos de obras de construção civil**. 1ª ed. Editora Edgard São Paulo, 2006.

SILVA, Bruno Gomes; ZAFALON, Ademar Ança. **Construção civil: importância do planejamento de obras**. Semana Acadêmica Científica. Ed. 159. V.1. Fortaleza, 2019.

Tribunal de Contas da União. **Acórdão 2.380/2013**. Plenário. Relatora: Ana Arraes. Sessão: 09 set. 2013. Brasília, 2013.

TISAKA, Maçahico. **Metodologia de cálculo da taxa do BDI e custos diretos para a elaboração do orçamento na construção civil**. São Paulo: PINI, 2009.

XAVIER, Ivan. **Orçamento, Planejamento e Custo de Obras**. São Paulo: FUPAM – Fundação para Pesquisa Ambiental, 2008.