

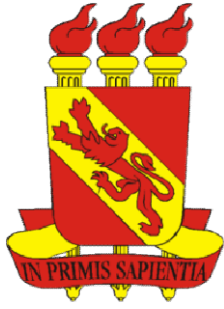
UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

ERIVÂNIA KAYELLE LIMA DE ABREU

**IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS DOS ATRASOS USANDO ABORDAGEM DO
MÉTODO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) EM OBRAS DE
INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIAS PÚBLICAS BRASILEIRAS**

Recife, PE

2023



UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO
ESCOLA POLITÉCNICA DE PERNAMBUCO
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

ERIVÂNIA KAYELLE LIMA DE ABREU

**IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS DOS ATRASOS USANDO ABORDAGEM DO
MÉTODO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) EM OBRAS DE
INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIAS PÚBLICAS BRASILEIRAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientadora: Profa. Dra. Emilia Rahnemay Kohlman Rabbani, professora da UPE

Coorientadora: Profa.Dra. Márcia Rejane Oliveira Barros Carvalho Macedo, professora da UPE

Recife, PE

2023

Abreu, Erivânia Kayelle Lima

Identificação das causas dos atrasos usando abordagem do método Analytic Hierarchy Process (AHP) em obras de infraestrutura rodoviárias públicas brasileiras/ Erivânia Kayelle Lima de Abreu – Recife: Universidade de Pernambuco. Escola Politécnica, 2023. 120p.: il.

Orientadora Emilia Rahnemay Kohlman Rabbani

Coorientadora Márcia Rejane Oliveira Barros Carvalho Macedo

Dissertação (mestrado – Construção civil) – Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco. Departamento de Engenharia Civil. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, 2023.

1. Infraestrutura rodoviária. 2. Obras públicas. 3. Método AHP. 4. Atrasos em obras. 5. Construção Civil. 6. Dissertação – Universidade de Pernambuco – Escola Politécnica. I. Título.

ERIVÂNIA KAYELLE LIMA DE ABREU

**IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS DOS ATRASOS USANDO ABORDAGEM DO
MÉTODO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) EM OBRAS DE
INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIAS PÚBLICAS BRASILEIRAS**

Apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Escola Politécnica de Pernambuco da Universidade de Pernambuco para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração: Construção Civil

Aprovado em: Recife, 12/07/2023.


BANCA EXAMINADORA:

Orientadora:



Prof.a. Dra. Emilia Rahnemay Kohlman Rabbani
Universidade de Pernambuco

Coorientadora:

Documento assinado digitalmente
 **MARCIA REJANE OLIVEIRA BARROS CARVALHO I**
Data: 23/10/2023 17:43:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.a. Dra. Márcia Rejane Oliveira B.C. Macedo
Universidade de Pernambuco

Examinadores:



Prof.a. Dra. Bianca M. Vasconcelos
Universidade de Pernambuco



Prof. Dr. Leonardo Herszon Meira
Universidade Federal de Pernambuco

Recife, PE

2023

DEDICATÓRIA

Dedico esta pesquisa a sociedade brasileira que é involuntariamente afetada pelos efeitos que os atrasos causam reduzindo os benefícios sociais. Assim mais infraestruturas necessárias possam ser entregues para o desenvolvimento no país.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à DEUS por mais um sonho alcançado e por sempre renovar as minhas forças.

Agradeço à minha Família, minha mãe Vânia, meu irmão Kayo, meu pai Edmilson, Agatha meu amorzinho, por tudo e pelo apoio.

Agradeço ao meu amor Francisco Chagas, pelo apoio em mais uma aventura na realização de um sonho, pela dedicação e sem medir esforços esteve sempre aqui.

Agradeço à minha orientadora, Profa. Dra. Emilia Rahnemay Kohlman Rabbani, pelas oportunidades proporcionadas, pelo apoio e dedicação dentro do grupo de Desenvolvimento Seguro e Sustentável - DESS, um grupo de pesquisa, ensino e extensão da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco.

Agradeço à minha coorientadora, Profa. Dra. Márcia Rejane Oliveira Barros Carvalho Macedo, pelo apoio na pesquisa, pelas oportunidades proporcionadas, dedicação, amizade e, principalmente, por acreditar em mim.

Agradeço ao Coordenador do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Prof. Dr. Jaime Cabral, e ao Diretor da Universidade de Pernambuco, Prof. Dr. Alexandre Gusmão, pelo auxílio e atenção prestados durante o meu período de realização deste programa na Escola Politécnica de Pernambuco.

Agradeço à minha Banca Examinadora, Profa. Dra. Bianca M. Vasconcelos e o Prof. Dr. Leonardo Herszon Meira por terem praticado da minha Qualificação e por aceitarem participar da defesa da Dissertação.

Agradeço às minhas queridas colegas que o este programa me proporcionou, Maria Conceição e Maria Cristina, pela união, e amizade.

Agradeço às minhas queridas amigas Rute, Eliza e Inez por me apoiarem e estarem sempre torcendo por mim.

Agradeço aos funcionários do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil que sempre estão disponíveis a nos auxiliar.

Agradeço à Escola Politécnica de Pernambuco e ao do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, pela oportunidade de realização da minha pesquisa.

Enfim, agradeço a todos aqueles que, embora não citados, contribuíram de alguma forma para o desenvolvimento desta pesquisa.

“Se você vacila no dia da dificuldade, como será limitada a sua força!”
“Retenhamos firmes a confissão da nossa esperança, porque fiel é o que prometeu.”

Provérbios 24:10/Hebreus 10:23

RESUMO

O sistema de infraestrutura rodoviária desempenha um papel importante para um país, cujas extensões continentais, necessitam de uma infraestrutura de transporte adequada que permita conectar pessoas e lugares e impulsionar a economia. O atraso na entrega destes projetos é um dos problemas mais significativos na indústria da construção de estradas, representando um desafio para o sucesso do projeto em termos de tempo, custo, qualidade e segurança. Alguns estudos têm conduzido revisões de literatura, questionários e entrevistas com especialistas, ou ainda métodos analíticos como aprendizado de máquina e AHP (*Analytic Hierarchy Process*) para identificar fatores que causam os atrasos. Neste contexto, esta pesquisa objetivou identificar os principais fatores de atrasos nos projetos de infraestrutura rodoviária através da abordagem do processo de hierarquia analítica AHP no contexto do gerenciamento de obras públicas do Brasil. Esta pesquisa seguiu duas etapas, na primeira foi realizada uma busca nas bases de dados e mecanismos de pesquisa, utilizando palavras-chaves que direcionam a estudos sobre fatores de atrasos nos projetos de construção rodoviária. Em seguida, foram examinados e classificados os critérios e subcritérios, hierarquizando os fatores das causas de atrasos, a partir de discussões com especialista, e aplicação de um questionário, conforme a metodologia AHP. O software de apoio utilizado foi o *SuperDecisions*. Foram categorizados os fatores principais (Critérios) e subfatores (Subcritérios) que influenciavam os atrasos conforme a literatura. Os fatores principais foram compilados em 5 critérios denominados: contratante principal, projetista, gestor, fatores materiais/mão de obra/equipamentos e fatores externos. Dentro destes grupos, inicialmente, foram selecionados 24 subfatores que mais influenciavam os atrasos. Mas após os testes de consistência não serem aceitáveis, foi realizada uma nova seleção, que considerou na análise os 15 subfatores de maior influência. De acordo com os especialistas, a ordem de importância foi: Contratante>Fatores Externos>Materiais> Mão de obra e Equipamentos>Gestor>Projetista. O subcritério mais importante entre os especialistas foi o clima como um dos fatores mais importantes na causa dos atrasos em obras de infraestrutura rodoviária brasileira. O estudo apontou quais dos fatores deveriam ter prioridade na tomada de decisões para evitar atrasos nos projetos de transporte rodoviário públicos, financiados pelo governo no Brasil. Como resultado da sua aplicação, pode-se chegar às variáveis que poderão ser utilizadas para elaborar um modelo de previsão contribuindo para mitigar os riscos de atrasos em projetos e obras de infraestrutura rodoviária para obras públicas de infraestrutura.

Palavras-chaves: Infraestrutura rodoviária, Obras públicas, Método AHP, Atrasos em obras, Construção civil.

ABSTRACT

The highway infrastructure system plays an important role in a country whose continental extensions require an adequate transportation system to connect people and places and boost the economy. Delayed delivery of these projects is one of the most significant problems in the road construction industry and poses challenges to project success in terms of time, cost, quality, and safety. Some studies have carried out literature reviews, applied questionnaires and performed expert interviews, or used analytical methods such as machine learning and AHP (Analytic Hierarchy Process) to identify factors that cause delays. The objective of this study was to identify the main delay factors in road infrastructure projects using the AHP analytic hierarchy process approach in the context of public works management in Brazil. This study consisted of two stages, the first being a search in databases and search engines, using keywords that point to studies on delay factors in road construction projects. After this, the criteria and sub-criteria were examined and classified, and the factors and causes of delays were ranked based on discussions with an expert and the application of a questionnaire, according to the AHP methodology. The supporting software used was SuperDecisions. The main factors (criteria) and sub-factors (sub-criteria) that influence delay were categorized according to the literature. The main factors were compiled into five criteria called: principal contractor, designer, manager, material/manpower/equipment, and external factors. Within these groups, 24 sub-factors that most influenced delay were initially selected. But after the consistency tests were not acceptable, a new selection was made, which considered in the analysis the 15 most influential sub-factors. According to the experts, the order of importance was: Contractor>External Factors>Materials>Manpower and Equipment>Manager>Designer. The most important sub-criterion according to the specialists in causing delays in Brazilian road infrastructure projects was climate. The study pointed out which factors should have priority in decision-making to avoid delays in public, government-funded road transportation projects in Brazil. By applying it, one can arrive at the variables that can be used to develop a prediction model that helps mitigate the risks of delay in public road infrastructure projects.

Keywords: Highway infrastructure, Public works projects, AHP method, Project delays, Civil construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação entre o desenvolvimento econômico e o investimento em infraestrutura..	21
Figura 2 - Gráfico <i>Ishikawa</i> com causas e efeitos dos atrasos nos projetos de construção de estradas, que prioriza qualitativamente os atrasos do ponto de vista da opinião dos especialistas.	28
Figura 3- Estrutura hierárquica básica baseada no AHP.	35
Figura 4 - Processo de aplicação do método AHP.	36
Figura 5 - Matriz de comparação pareada.	37
Figura 6 - Matriz de decisão - método AHP.....	40
Figura 7 - Fluxograma da metodologia adotada.....	42
Figura 8 - Fluxograma do processo de seleção de critérios.....	44
Figura 9 - Etapas da revisão realizada na presente pesquisa.	48
Figura 10 - Quantidade de fatores de atrasos identificados por país.	52
Figura 11 - Critérios – fatores principais selecionados de acordo com a literatura.....	54
Figura 12 – Primeira estrutura dos dados para o questionário com critérios e subcritérios.	55
Figura 13 - Categorias dos principais fatores (critérios) de atrasos nos projetos e obras de infraestrutura rodoviária no Brasil.....	57
Figura 14 - Exemplo da comparação pareada ou par a par do formulário enviado.....	62
Figura 15 - Google <i>Forms</i> do questionário aplicado.....	70
Figura 16 - Estruturação hierárquica dos fatores das causas de atraso na infraestrutura rodoviária no software <i>SuperDecisions</i>	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Escala fundamental de Saaty (2004) para avaliação e comparação em pares com base no grau de importância.	37
Tabela 2- Valores empíricos do Índice de Consistência Aleatória (IR).....	39
Tabela 3- Literatura utilizada para coleta de dados (Continua).....	48
Tabela 4- Estudo que aplicaram o método AHP para projetos rodoviários.	53
Tabela 5 - Ranking com base na frequência de ocorrência dos dez fatores de atrasos nos projetos e obras de infraestrutura rodoviária (Continua...).....	55
Tabela 6- Principais fatores de atrasos, de acordo com os especialistas, nos projetos e obras de infraestrutura rodoviária pública no Brasil (Continua...).....	58
Tabela 7- Ordem de importância dos critérios de acordo com cada especialista.....	61
Tabela 8- Ordem de importância da prioridade final dos critérios e subcritérios de acordo com os três especialistas.....	61
Tabela 12 - Coeficientes de coerência das matrizes de critérios.....	63
Tabela 10 - Revisão dos Fatores de atrasos e grupo relacionado aos projetos e obras de infraestrutura rodoviária (Continua...).....	64
Tabela 11 - Pesos dos critérios obtidos a partir da agregação.....	66
Tabela 12 - Nova ordem de importância da prioridade final dos critérios e subcritérios de acordo com os três especialistas.....	66
Tabela 13 - Causas de atrasos identificados como responsáveis por excesso no tempo e custo (Continua).....	84
Tabela 14 - Causas de atrasos identificadas nos artigos selecionados (seleção inicial sem uniformizar).....	100
Tabela 15 - Causas de atrasos identificadas nos artigos selecionados (seleção com uniformização).....	112

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	16
1.2 JUSTIFICATIVA	17
1.3 QUESTÃO DE PESQUISA	18
1.4 OBJETIVOS	18
1.4.1 Objetivo Geral	18
1.4.2 Objetivo Específico	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1 INFRAESTRUTURA.....	20
INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA	22
2.2 ATRASOS NA INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA	23
2.2.1 CONTEXTO DOS ATRASOS NA INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA	24
2.2.2 FATORES QUE INTERFEREM NO CRONOGRAMA DE RODOVIAS.....	26
2.2.3 GRUPOS PRINCIPAIS NOS ATRASOS NA INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA.....	29
2.3 CONTEXTO DOS ATRASOS NO BRASIL	30
2.4 MÉTODOS DE APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO OU MULTI-CRITERIA DECISION MAKING (MCDM)	32
2.4.1 MÉTODO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)	34
2.4.2 METODOLOGIA AHP	36
3 METODOLOGIA DE PESQUISA	41
3.1 FASE 1 – IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	42
3.2 FASE 2 – REVISÃO DA LITERATURA	43
3.3 FASE 3 – MÉTODO AHP.....	43
3.3.1 Desenho do questionário AHP	44
3.3.2 Aplicação do questionário AHP	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
4.1 REVISÃO DA LITERATURA	47
4.2 SELEÇÃO DE FATORES DE ATRASO NA INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA	54
4.2.1 Seleção dos critérios	56

4.2.2 Seleção dos Subcritérios	57
4.3 ANÁLISES MULTICRITÉRIO – AHP	60
4.3.1 Especialistas	60
4.3.2 Análise depois do ajuste dos subcritérios por causa da inconsistência dos dados ..	63
4.4 QUESTIONÁRIO	69
5 CONCLUSÕES	72
REFERÊNCIAS	75
APÊNDICE A	84
APÊNDICE B.....	100
APÊNCIDE C	112
APÊNDICE D	118
APÊNDICE E.....	120
APÊNDICE F.....	124
ARTIGO PUBLICADO.....	125

1 INTRODUÇÃO

A infraestrutura rodoviária é necessária para o desenvolvimento econômico de qualquer país (PAI *et al.*, 2018) contribuindo para o crescimento, eficiência e produtividade de outros setores da indústria, inclusive da construção civil. Para isso, muitos investimentos serão feitos no mundo inteiro até 2050, e são estimados que 25 milhões de km de estradas pavimentadas sejam construídas, o suficiente para dar 600 voltas ao redor do planeta (ALAMGIR *et al.*, 2017).

As características das infraestruturas rodoviárias exigem um longo período de planejamento e construção (Park, 2021) e a maioria dessas obras são geridas no âmbito do setor público (KARUNAKARAN; MALEK; RAMLI, 2019) que melhoram as atividades sociais e econômicas de um país (KASSA, 2020) como o acesso a mercados, produção, empregos, saúde e outros serviços sociais (AL-HADITHI, 2018).

No Brasil as rodovias são os principais meios de transporte utilizados. Este modal facilita no escoamento de produtos e serviços, movimentações de cargas e passageiros, e atividades comerciais nas circunjangências. O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) é o órgão responsável pela construção, recuperação, conservação e manutenção destas vias de transportes interurbanos federais, e está vinculado ao Ministério da Infraestrutura (MInfra). Atualmente, o DNIT responde por uma malha federal rodoviária pavimentada de 65,3 mil km. Esta autarquia é também responsável por administrar as rodovias, garantindo aos usuários mais segurança e conforto no tráfego pela malha viária sob sua jurisdição (DNIT, 2021).

As etapas de elaboração de projetos e execução das obras das infraestruturas rodoviárias é um desafio frequente, dividindo-se entre planejamento e definição, projeto, aquisição e construção (RIVERA; BAGUEC; YEOM, 2020), que devem ser bem executadas e concluídas. Muitos fatores podem causar atrasos e adiar o uso das rodovias, podendo estar relacionados, segundo Yap *et al.* (2021) aos clientes, contratados, consultores, mão de obra, equipamentos e materiais. Esse adiamento no uso da infraestrutura reduz ainda mais os benefícios sociais (ERIKSSON; LARSSON; PESÄMAA, 2017). Isso implica que, sem infraestrutura de transporte eficiente, o desenvolvimento econômico e social seria rigorosamente prejudicado (AMOATEY; ANKRAH, 2017). Podem ainda, ocorrer em

diferentes fases, dependendo do tamanho do projeto, duração da construção, volume do contrato e *know-how* técnico e também gerencial (MAHAMID, BRULAND; DMAIDI, 2012), e localização do canteiro de obras (CABAHUG *et. al*, 2018).

Os atrasos na entrega das infraestruturas rodoviárias públicas também pode estar atrelada a etapa da licitação com a seleção do menor licitante (BEKR, 2015; ISLAM *et al.*, 2015; SANTOSO; SOENG 2016) planejamento e projeto inadequado (MEJÍA *et. al*, 2020), execução dos projetos de construção inadequados (MOHAJERI BORJE GHALEH *et. al*, 2021), falta de recursos suficientes (NOULMANEE *et. al*, 1999) que incluem mão de obra, equipamentos, instalações e máquinas de construção, materiais, dinheiro e tempo (DANIAL; MISNAN, 2022). O atraso na elaboração dos projetos de estradas e execução dos mesmos também tem um efeito adverso no sucesso em termos de tempo, custo, qualidade e segurança (MAHAMID; BRULAND; DMAIDI, 2012; MAHAMID, 2017; BOUNTHIPPHASERT *et al.*, 2020; RIVERA; BAGUEC; YEOM, 2020).

Nos países em desenvolvimento, um projeto de construção pública tem particular importância por causa de sua ligação com a extensão da infraestrutura (BAGAYA; SONG, 2016). O Brasil por ser um país em desenvolvimento, ainda é bastante afetado pela inadequação dos projetos e execução que tem causado atrasos nas obras, com impactos sociais e econômicos.

Pesquisadores têm buscado identificar as variáveis que causam atrasos nos projetos rodoviários, e destacaram uma série de causas e fatores que levam ao mal desempenho de custo e tempo, em países desenvolvidos e em desenvolvimento (MELAKU BELAY *et al.*, 2021). A maioria dessas pesquisas utilizou análise por meio da revisão de literatura associada a questionários, como também abordagens de análise como Índice de Importância, Índice de Frequência e Índice de Gravidade (MOHAJERI BORJE GHALEH *et al.*, 2021; NEGESA, 2022; PURUSHOTHAMAN; KUMAR, 2022; SUBEDI; JOSHI, 2020; MEJÍA *et al.*, 2020; RIVERA, BAGUEC; YEOM, 2020).

Uma abordagem que vem ganhando espaço na análise dos fatores que causam atrasos nos projetos rodoviários é o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) ou processo de hierarquia analítica (KHADEMI *et al.*, 2012; ASADABADI; CHANG; SABERI, 2019; RAZI; ALI; RAMLI, 2019; TAVASSOLIRIZI *et al.*, 2020; LIN; FAN; CHEN, 2022). O método AHP é uma abordagem para tomada de decisão multicritério proposto por Saaty (1980) e tem sido

utilizado por pesquisadores da área de transportes (RABBANI; RABBANI, 1996; TAVASSOLIRIZI *et al.*, 2020; LIN; FAN; CHEN, 2022) para sistematizar problemas complexos por meio de uma estrutura hierárquica e construir uma matriz de comparação de atributos para determinar os pesos entre os critérios.

A aplicação do método AHP para identificar os fatores de atrasos, segundo Tavassolirizi *et al.* (2020), pode ser iniciada a partir da literatura existente e, em seguida, através de entrevistas com os especialistas, a priorização desses fatores. Essa aplicação segue a construção hierárquica, que pode ser estabelecida e representada, por uma seleção de grupos principais (critérios), e cada critério pode ser dividido em subcritérios.

Como pode ser observado a partir da revisão de literatura, vários estudos investigaram as causas e efeitos dos atrasos no setor de construção e muito poucos se concentraram no setor dos projetos rodoviários (AMOATEY; ANKRAH, 2017). Ainda que estes tenham chegado a aplicações e dado a sua contribuição para a comunidade científica e profissional, a ocorrência de atrasos na entrega dos projetos rodoviários ainda é uma característica comum e carece de mais investigação (SANI-ANIBIRE; ZIN; OLATUNJI, 2021). E apesar da contribuição desses estudos, no Brasil não há pesquisas voltadas para os atrasos nos projetos rodoviários públicos.

De acordo com Macedo *et al.* (2020) para o contexto do Brasil, a grande dificuldade relacionada à gestão rodoviária é a falta de dados sobre projetos rodoviários (CNM, 2018). A falta de dados básicos dos projetos rodoviários, está atribuída às características particulares do trânsito brasileiro. E por isso há a dificuldade no uso de estudos, modelos e dados de outros países como fonte referência (MACEDO *et al.*, 2020). Sendo assim, verifica-se que existe uma relação significativa entre os fatores que causam atrasos dos projetos rodoviários e o envolvimento de circunstâncias particulares.

Diante da realidade, no Brasil ainda não existem estudos identificando os fatores das causas de atrasos nos projetos rodoviários e, tendo em vista que a falta de investimento é premente das dificuldades econômicas, esta pesquisa buscou validar utilizando o método AHP, os fatores que são considerados importantes pelos especialistas, em obras de infraestrutura rodoviária financiados pelo governo. Assim, devido à importância dos inúmeros impactos

advindos dos atrasos, é necessário investigar e analisar os seus fatores. A hierarquização das causas de atrasos pode ser vista como auxílio na tomada de decisão.

1.1 Contextualização

O desenvolvimento do país está atrelado aos investimentos dados aos serviços de utilização pública, bem como os serviços de fornecimento de energia elétrica, gás, transporte coletivo rodoviário de passageiros, telefonia, entre outros. A infraestrutura brasileira possui uma malha rodoviária cuja extensão é de importante utilização para o escoamento de mercadorias e de integração nacional. Os sistemas de infraestrutura estão integrados com a área social, política e econômica de uma nação.

Os investimentos em infraestrutura ou a quantificação de serviços já existentes é um item utilizado para medir o desenvolvimento de uma nação, população ou país (BRANDÃO, 2014). As obras de infraestrutura são normalmente de responsabilidade pública, visto que nos países em desenvolvimento como o Brasil, financiam a maior parte das obras de infraestrutura rodoviária.

De acordo com Melo Filho (2020) o crescimento, a prosperidade e o avanço econômico dos países em desenvolvimento dependem de sistemas de transporte confiáveis e seguros. A construção de rodovias cria oportunidades de trabalho, mas também melhora a habilidade da população local empregada no projeto. Assim, a ascensão das rodovias oportuniza o crescimento da produção de bens em regiões pobres, aumenta o volume de comércio, reduz os custos de transporte e melhora os serviços sociais (ATIBU, 2015).

Apesar do potencial que os projetos de infraestrutura rodoviária podem abranger, estes são frequentemente afetados pelos atrasos na entrega em que é considerado um fenômeno comum na maioria dos projetos nos países em desenvolvimento (AHIAGA-DAGBUI *et al.*, 2017).

Os atrasos nos projetos de infraestrutura rodoviária tornaram-se um desafio frequente que prolonga ainda mais o tempo de entrega. O que pode causar uma infinidade de problemas não só apenas aos usuários da estrada, mas também ao empreiteiro, aos empresários e ao governo (CABAHUG *et al.*, 2018).

Em vista disso, é importante identificar as causas mais significativas e evitá-las ou mitigar seu impacto (MPOFU *et al.*, 2017). Porém o maior desafio enfrentado pelo setor rodoviário é como gerenciar os fatores de atrasos e entregar projetos dentro do prazo e do orçamento (AMOATEY; ANKRAH, 2017) em que um atraso de três meses em um projeto pode levar a um atraso de um ano na execução, resultando em custos substanciais (DANIAL; MISNAN, 2022).

1.2 Justificativa

A conclusão oportuna de projetos de construção de estradas é um desafio para os profissionais deste ramo. A problemática dos atrasos em obras públicas é um fenômeno global. O contexto das obras públicas no Brasil não seria diferente. Em vista disso, é vital identificar as causas e os fatores mais significativos para evitá-las ou mitigar seu impacto. Esta ação favorece os envolvidos neste processo e, possibilita que sejam realizadas ações corretivas.

A indústria de construção de rodovias no Brasil contribui significativamente para o desenvolvimento da economia do país. Um estudo sobre atrasos nestes projetos levará a uma melhor compreensão das causas da ineficiência, em que todas as partes envolvidas (empreiteiros, consultores, clientes, entre outros) devem se beneficiar das descobertas desta pesquisa.

A busca na literatura por causas e fatores de atrasos permite nortear para uma melhor compreensão da ineficiência nos projetos de construção de estradas. Muitos são os fatores, nestas obras, que podem causar atrasos na sua entrega, havendo a necessidade de determinar as causas mais prevalentes e significativas na conclusão do projeto. Além disso, atrasos nos projetos adiarão o uso da infraestrutura, reduzindo assim os benefícios sociais.

Embora haja uma ampla literatura sobre os fatores de atrasos de projeto de infraestrutura rodoviária, em uma breve revisão, poucos estudos foram realizados neste setor no Brasil. Tal informação se leva a explorar, na presente pesquisa, as causas de atrasos identificadas nos estudos que abrangem a infraestrutura rodoviária e, mediante a isto se propõem a utilizar o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), conhecido como um método multicritério de apoio a decisão, a fim de auxiliar o processo de entendimento e transposição para a realidade do Brasil para os projetos e obras públicas de estradas.

Assim, coletando estudos de diferentes países, é preciso trazê-los para a realidade brasileira. Para identificá-los na nossa perspectiva, de acordo com especialistas, o método AHP é recomendado, pois possibilita a hierarquização, priorização, para medidas mais eficientes para mitigar o problema, fazendo com que este processo seja eficiente, racional, claro e decisões sejam tratadas com base matemática.

Portanto, para promover a entrega em tempo hábil e a relação custo-benefício para a sociedade, é fundamental garantir que os projetos de construção no setor de infraestrutura sejam gerenciados de forma estratégica e eficiente.

1.3 Questão de pesquisa

Baseado no contexto apresentado, esta pesquisa abordará a seguinte questão:

Q1.: Como identificar as causas dos atrasos nas obras de infraestrutura rodoviária brasileiras sob a perspectiva dos especialistas?

Q2.: Quais as principais causas (considerando prevalência e relevância) dos atrasos nas obras de infraestrutura rodoviária nas obras brasileiras sob a perspectiva dos especialistas?

1.4 Objetivos

Os objetivos estão divididos em geral e específicos conforme a seguir:

1.4.1 Objetivo Geral

Identificar os principais fatores de atrasos nos projetos de infraestrutura rodoviária de obras públicas no Brasil a partir de causas internacionalmente levantadas e aplicação de modelo multicritério junto especialistas da área.

1.4.2 Objetivo Específico

- Identificar as causas dos atrasos nos projetos e obras no contexto da infraestrutura rodoviária de acordo com a literatura internacional;
- Identificar e descrever usos da metodologia do AHP para redução de atrasos em obras públicas no Brasil e no mundo;
- Identificar/priorizar os fatores de atrasos nos projetos e obras no contexto da infraestrutura rodoviária do Brasil;

- Definir os critérios e subcritérios relacionados ao atraso de obras públicas de infraestrutura rodoviária no Brasil de acordo com os especialistas;
- Propor uma priorização para as causas de atraso na entrega de infraestrutura rodoviária no Brasil.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão apresentados aspectos relacionados a infraestrutura rodoviária, bem como os atrasos que impedem a entrega destes projetos, até a explanação do processo de hierarquia analítica (AHP) que embasaram a presente pesquisa.

2.1 INFRAESTRUTURA

A infraestrutura pode ser entendida como a estrutura básica que viabiliza o funcionamento da economia e possibilita o desenvolvimento das atividades humanas em seus mais diversos aspectos e dimensões (ROCHA; RIBEIRO, 2022). Ela é considerada como uma ramificação da indústria da construção civil, e classificada como pesada. Esta conceituação pode ser complementada por Torrisi *et al.* (2009) que definiu a infraestrutura como um conjunto de bens de capital ofertados em grandes unidades, a partir de investimentos caracterizados por longos períodos de duração até a maturação, indivisibilidade da planta e elevada relação capital-produto.

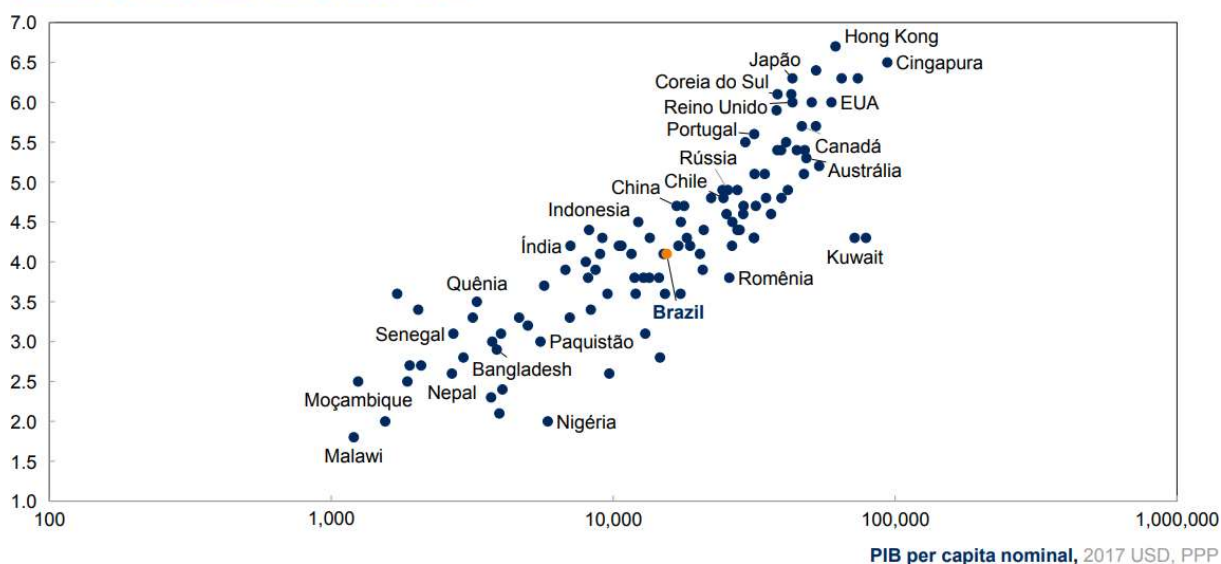
De acordo com Fernandez (2022) as obras de infraestrutura podem ser as construções de ferrovias, rodovias, portos e aeroportos, centrais de abastecimento de água, instalação de redes de esgoto e pavimentação de ruas vinculadas à estrutura urbana. Para Brandão (2014) incluem nestas a construção de usinas hidrelétricas e nucleares, como também as obras de arte. Borça Júnior e Quaresma (2010) consideraram serviços de energia elétrica, telecomunicações como parte dessa classificação. Sánchez *et al.* (2017) conceituam como infraestrutura os serviços prestados nos setores de gás natural, coleta de resíduos, tecnologias de informação e comunicação (TICs).

Vale salientar que o desenvolvimento econômico dos países sofre impactos que estão associados à qualidade da sua infraestrutura (BRANDÃO, 2014). Por sua vez, a infraestrutura visa dar apoio às atividades do setor produtivo, sabendo assim que ela contribui diretamente para a elevação do Produto Interno Bruto (PIB), por meio da produção dos serviços de transporte, energia, saneamento e telecomunicações. Assim, os investimentos sobre a infraestrutura do país podem induzir em longo prazo a geração de externalidades positivas (ROCHA; RIBEIRO, 2022). Os investimentos no Brasil em infraestrutura têm um potencial ainda muito maior com reflexo no PIB.

Na pesquisa de Gondim (2019) a relação entre qualidade da infraestrutura e o desenvolvimento econômico, pode ser visto quando analisados em diferentes países. Nesta pesquisa a correlação entre esses dois fatores ficou evidente como é importante usar o desenvolvimento da infraestrutura sob a ótica do desenvolvimento econômico. Contudo, os investimentos adicionais em infraestrutura podem impactar significativamente na evolução da economia de um País. Assim, conforme a Figura 1 o investimento de um país no setor de infraestrutura tem um impacto direto na geração de riquezas e consequentemente a qualidade de vida na sociedade:

Figura 1 - Relação entre o desenvolvimento econômico e o investimento em infraestrutura.

Qualidade da infraestrutura (Pontuação 2017-2018), Pontuação WEF em valores absolutos, variando de 1 a 7



Fonte: Seminário BNDES e CBIC, (MCKINSEY, 2018).

Dessa forma, em geral, Rocha e Ribeiro (2022) revelaram que entre os estudos na literatura, a ligação positiva entre infraestrutura e crescimento econômico tem maior propensão a ser observada em países em desenvolvimento. O Brasil enfrenta desafios de investimentos. Um deles é a baixa eficiência na formulação e na execução dos projetos. De acordo com Gondim (2019) os projetos de menor qualidade podem gerar mais dificuldades, custos adicionais e maiores prazos, o que impacta nas etapas seguintes na cadeia principalmente em sua execução.

Para que haja progresso é preciso uma base e esta é a infraestrutura do país. Ou seja, a infraestrutura é composta por obras que são necessárias no desenvolvimento nas cidades de um país. Ao concentrar-se em um setor específico da indústria da construção civil, a infraestrutura rodoviária pública será explanada, mediante a problemática dos atrasos e suas

reais causas. Isso significa a identificação e avaliação dos fatores que causam atrasos nesses projetos, que são necessários para evitar atrasos futuros.

Infraestrutura rodoviária

Os projetos rodoviários possuem um papel fundamental para o desenvolvimento e crescimento econômico nos países, facilitando a mobilidade de bens e serviços, e atividades comerciais nas redondezas (KASSA, 2020) como o acesso a mercados, produção, empregos, saúde e outros serviços sociais (AL HADITHI, 2018). Na maioria das vezes este tipo de projeto é contemplado por obras públicas (KARUNAKARAN; MALEK; RAMLI, 2019) sendo, portanto, o governo (federal, estadual ou municipal), o contratante principal. Isto se justifica por causa de sua ligação com os benefícios que representam investimentos para a sociedade em geral.

Nos países em desenvolvimento, um projeto de construção pública tem particular relevância por causa de sua ligação com o desenvolvimento do país (BAGAYA; SONG, 2016). Assim, é essencial executar os projetos dentro do tempo, custo e qualidade (THAPANONT; SANTI; PRUETHIPONG, 2018).

As características das infraestruturas rodoviárias exigem um longo período de planejamento e construção (PARK, 2021). As suas etapas de elaboração é um desafio frequente. Seus projetos em relação à sua construção vão existir três etapas principais. Essas dividem-se entre: planejamento e definição, projeto, aquisição, construção e manutenção que devem ser bem executadas e concluídas, de acordo com o cronograma para atender às necessidades imediatas das partes envolvidas (RIVERA; BAGUEC JR; YEOM, 2020).

No Brasil as rodovias são os principais meios de transporte utilizados. Este modal facilita na mobilidade de produtos e serviços, movimentações de cargas e passageiros, e atividades comerciais nas circunjangências. O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) é o órgão responsável pela construção, recuperação, conservação e manutenção destas vias de transportes interurbanas federais, e está vinculado ao Ministério da Infraestrutura (MInfra). Atualmente, o DNIT responde por uma malha federal rodoviária pavimentada de 65,3 mil km. Esta autarquia é também responsável por administrar as rodovias, garantindo aos

usuários mais segurança e conforto no tráfego pela malha viária sob jurisdição da autarquia (DNIT, 2021).

Na infraestrutura rodoviária no Brasil desafios vêm sendo observados. Segundo Pitta (2021) a infraestrutura vem enfrentando grande carência de recursos, que não são apenas financeiros, mas gerenciais. Isso criou um déficit nos contratos dos órgãos rodoviários nacionais, estaduais e municipais, o que acabou levando a uma ineficiência no planejamento orçamentário de todo o setor de infraestrutura.

Este tem um efeito que leva a uma deterioração demasiada em relação à qualidade das rodovias em operação, tanto pela necessidade de implementação de obras com os menores custos possíveis como também pela falta de investimento em qualificação técnica das equipes e no desenvolvimento de estudos técnicos econômicos, e projetos que abranjam o ciclo de vida completo dos empreendimentos (PITTA, 2021).

Há muitos riscos associados a projetos de infraestrutura (FERNANDEZ, 2022). Nestes, existirão causas que afetam significativamente o cronograma e, portanto, impedem sua conclusão dentro do prazo estabelecido (NEGESA, 2022) levando como consequência a derrapagens de custos (RUDELI, 2018). Outros fatores que interferem no cronograma de obras rodoviárias serão detalhados nos subitens seguintes.

2.2 ATRASOS NA INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA

Os projetos rodoviários pertencem às atividades da construção pesada, com alto grau de mecanização e grandes volumes de materiais. Falhas e escassez dos recursos necessários em seu desenvolvimento são potenciais fatores de atrasos de sua entrega (MEJÍA *et. al.*, 2020). Pode-se assim afirmar, que existem muitas variáveis significantes que são responsáveis pelos atrasos na construção de projetos de infraestrutura de rodovias.

De acordo com Williams (2003), um atraso de três meses em um projeto pode levar a um atraso de um ano na execução, resultando em custos substanciais (DANIAL; MISNAN, 2022). Na pesquisa de Amoatey e Ankrah (2017), estes autores indicaram que vários estudos apontam que os atrasos ocorrem em todos os projetos de construção e, o significado desse

atraso varia consideravelmente de projeto para projeto. Sugeriram então que o atraso na entrega dos projetos é o fenômeno mais comum, complexo e universal na construção.

As causas dos atrasos estão associadas às questões sociais, econômicas e culturais, e varia em cada país (MPOFU *et al.*, 2017). Na pesquisa realizada por Kassa (2020) na Etiópia, revelou-se que 88% dos projetos de construções de estradas sofrem atrasos e 80% delas tiveram custos acima do inicialmente previsto.

A conclusão oportuna de projetos de construção de estradas é um desafio que os profissionais enfrentam na realidade. Devido a esta imprevisibilidade ainda nas etapas iniciais, junto com os atrasos veem as consequências, como o fracasso do projeto, redução da margem de lucro, perda de confiança do cidadão em projetos financiados pelo governo, entre outras. Portanto os atrasos nos projetos afetam negativamente o desenvolvimento da infraestrutura rodoviária nos países principalmente em desenvolvimento.

No documento de Gibson e Dumont (2019) eles sugeriram a aplicação da ferramenta PDRI ou Índice de Classificação de Definição de Projeto como *check list* para obras de infraestrutura, edificações, comerciais, entre outras, para análise e evitar iniciar um projeto que tenha chance de apresentar problemas durante a execução, apontando onde se devem ocorrer melhorias.

A partir do Índice de Classificação de Definição de Projeto (PDRI) os atrasos podem ser previsíveis. Mas a experiência mostrou que ele deve ser usado mais de uma vez, e essa é uma ferramenta aplicada nos projetos industriais. Apesar disso, esta ferramenta precisaria ser aplicada no estágio inicial no contexto dos projetos e construção de estradas no Brasil.

2.2.1 Contexto dos atrasos na infraestrutura rodoviária

Muitos são os fatores que causam atrasos nos projetos de construção. Esses fatores dependem da natureza do projeto e da abordagem contratual (HOSSEIN; KANG; KIM, 2015). Dada a importância das infraestruturas rodoviárias, eventuais atrasos no projeto e na construção, podem gerar perdas significativas. A identificação e avaliação dos fatores dos atrasos e o fornecimento de soluções são importantes para evitá-los em projetos futuros.

Na pesquisa de Rudeli *et al.* (2018), revelaram que o primeiro estudo das causas de atrasos especificamente em projetos de construção de rodovias foi de Chileshe e Danso em 2010. Apesar disso, na literatura encontrada foi vista que a publicação mais antiga sobre os atrasos na infraestrutura rodoviária foi a pesquisa de Noulmanee *et al.* (1999) em que investigaram as causas dos atrasos na construção de rodovias na Tailândia.

Os atrasos nos projetos de infraestrutura rodoviária desencadeiam muitos impactos negativos. Foram identificadas por meio desse trabalho, pesquisas de várias partes do mundo, que buscaram as causas e fatores destes projetos, como a Tailândia, Flórida, Califórnia, Geórgia, Nova York, Carolina do Sul, Wisconsin, Vietnã, Zâmbia, Gana, Paquistão, Palestina, Sri Lanka, Malawi, Egito, Uganda, Índia, Quênia, Bahrein, Bangladesh, Iraque, Jordânia, Camboja, Arábia Saudita, Etiópia, Sudão, Cisjordânia na Palestina, Líbia, Colômbia, Filipinas, Equador, Malásia, Argélia, Paquistão, Omã, África e Ásia, Nepal, Irã, República do Benin e Nova Zelândia (NOULMANEE *et al.*, 1999; VIDALIS; NAJAFI, 2002; ELLIS; THOMAS, 2003; LE-HOAI; LEE; LEE, 2008; KALIBA; MUYA; MUMBA, 2009; CHILESHE; BERKO, 2010; NASIR; GABRIEL; CHOUDHRY, 2011; MAHAMID; BRULAND; DMAIDI, 2012; WIJEKOON; ATTANAYAKE, 2012; KAMANGA; STEYN, 2013; EZELDIN; ABDEL-GHANY, 2013; ALINAITWE; APOLOT; TINDIWENSI, 2013; PATIL *et al.*, 2013; ONDARI; GEKARA, 2013; HASAN; SULIMAN; MALKI, 2014; ISLAM *et al.*, 2015; BEKR, 2015; AL-HAZIM; SALEM, 2015; SANTOSO; SOENG, 2016; ELAWI; ALGAHTANY; KASHIWAGI, 2016; TESFA, 2016; KHALID *et al.*, 2017; MAHAMID, 2017; LOZANO SERNA *et al.*, 2018; CABAHUG *et al.*, 2018; RUDELI *et al.*, 2018; KARUNAKARAN; MALEK; RAMLI, 2019; AL HINAI; WIDYARTO; BHUIYAN, 2020; MEJÍA *et al.*, 2020; SUBEDI; JOSHI, 2020; MOHAJERI BORJE GHALEH *et al.*, 2021; STEVIĆ *et al.*, 2022; PURUSHOTHAMAN; KUMAR, 2022).

Dentro do contexto das obras públicas de projetos de infraestrutura rodoviária, em países como a Uganda (ALINAITWE; APOLOT; TINDIWENSI, 2013), Índia (PATIL *et al.*, 2013), Iraque (BEKR, 2015), Jordânia (AL-HAZIM; SALEM, 2015), Cisjordânia na Palestina (MAHAMID, 2017) Gana (AMOATEY; ANKRAH, 2017), Filipinas (CABAHUG *et al.*, 2018) Argélia (RACHID; TOUFIK; MOHAMMED, 2019), Nepal (SUBEDI; JOSHI., 2020) Malásia (DANIAL; MISNAN, 2022), foram vistas pesquisas também desenvolvidas.

Quando se trata do contexto local, no Brasil um país em desenvolvimento, a investigação sobre fatores de atrasos em projetos de infraestrutura rodoviária, ainda não tem nenhum trabalho totalmente focado, mas as questões dos atrasos na construção de estradas têm sido uma prioridade para o governo.

2.2.2 Fatores que interferem no cronograma de rodovias

Existem várias causas ou fatores de atrasos associados a projetos de infraestrutura que foram identificados por pesquisadores que buscaram categorizar as causas dos atrasos com base em certos fatores.

No estudo de Noulmanee *et al.* (1999) em que investigaram as causas dos atrasos na construção de rodovias na Tailândia, concluíram que os atrasos podem ser causados por todas as partes envolvidas nos projetos, mas as principais causas vêm da inadequação dos subcontratados, organização inadequada e falta de recursos financeiros, projetos incompletos e pouca habilidade dos consultores e contratados.

De acordo com Rudeli *et al.* (2018), em 2010 os autores Chileshe e Danso revelaram que as causas que mais afetaram este tipo de projeto foram as condições climáticas, seleção do menor licitante, base de dados deficiente para estimar durações, controles de qualidade excessivos e baixa produtividade da mão de obra, trabalho, entre outros, no país de Gana.

Rivera, Baguec e Yeom (2020) com pesquisa realizada em 25 países em desenvolvimento, revelaram que habilidades gerenciais, má programação e planejamento, a desapropriação do local para a construção do projeto, a má comunicação entre os envolvidos, mudanças frequentes no projeto, escassez de equipamentos, modificações no contrato, atrasos na execução, falta de materiais de construção, atraso no pagamento aos empreiteiros e baixa produtividade do trabalho foram as causas associadas aos atrasos na construção de projetos de rodovias.

Mejía *et al.* (2020) com o foco também nos países em desenvolvimento, avaliaram as causas mais críticas de atraso de projetos rodoviários propondo ações de mitigação de acordo com os indicadores desses países. Eles concluíram que as causas mais críticas de atraso de projetos rodoviários estão associadas a problemas de financiamento do proprietário do projeto devido

ao caráter público da maioria dos proprietários de projetos de infraestrutura rodoviária e a grande quantidade de recursos públicos utilizados para o financiamento.

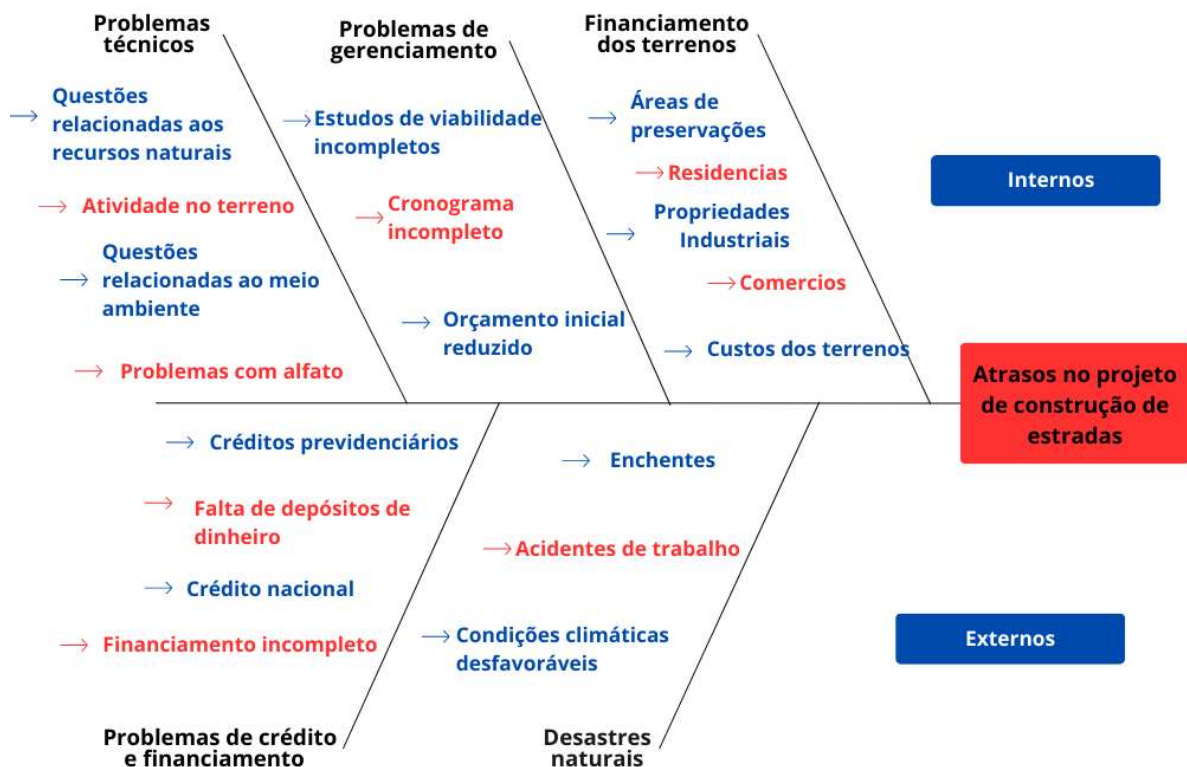
Nestes trabalhos (NOULMANEE *et al.*, 1999; VIDALIS; NAJAFI, 2002; ELLIS; THOMAS, 2003; LE-HOAI; LEE; LEE, 2008; KALIBA; MUYA; MUMBA, 2009; CHILESHE; BERKO, 2010; NASIR; GABRIEL; CHOUDHRY, 2011; MAHAMID; BRULAND; DMAIDI, 2012; WIJEKON; ATTANAYAKE, 2012; KAMANGA; STEYN, 2013; EZELDIN; ABDEL-GHANY, 2013; ALINAITWE; APOLOT; TINDIWENSI, 2013; PATIL *et al.*, 2013; ONDARI; GEKARA, 2013; HASAN; SULIMAN; MALKI, 2014; ISLAM *et al.*, 2015; BEKR, 2015; AL-HAZIM; SALEM, 2015; SANTOSO; SOENG, 2016; ELAWI; ALGAHTANY; KASHIWAGI, 2016; TESFA, 2016; KHALID *et al.*, 2017; MAHAMID, 2017; LOZANO SERNA *et al.*, 2018; CABAHUG *et al.*, 2018; RUDELI *et al.*, 2018; KARUNAKARAN; MALEK; RAMLI, 2019; AL HINAI; WIDYARTO; BHUIYAN, 2020; MEJÍA *et al.*, 2020; SUBEDI; JOSHI, 2020; MOHAJERI BORJE GHALEH *et al.*, 2021; STEVIĆ *et al.*, 2022; PURUSHOTHAMAN; KUMAR, 2022), foram observados que atrasos nos pagamentos, aquisição de terra, mudanças governamentais de regulamentos e burocracia, condições do terreno, situação política, experiência inadequada do contratado, quantidades irrealista com o orçamento, cronograma irrealista, condições meteorológicas e climáticas, falta de planejamento abrangente sobre os impactos sociais que contribuem para as manifestações públicas, foram apontados nesses estudos, como fatores para os atrasos na entrega do projeto rodoviário.

Diante dessa análise foi visto que as maiorias dessas pesquisas utilizaram questionários, ou seja, pesquisadores buscaram por meio de entrevistas saber a real causa de atraso que existiam no contexto de aplicação. Nas abordagens também foram usadas análises como Índice de Importância, Índice de Frequência e Índice de Gravidade. Algumas pesquisas incluíram em suas buscar identificar as causas e efeitos que os atrasos ocasionam (LE-HOAI; LEE, Y.; LEE, J., 2008; KALIBA; MUYA; MUMBA, 2009; HASAN; SULIMAN; MALKI, 2014). Desse modo, todos esses trabalhos têm uma grande contribuição para outros países com características semelhantes, podendo adotar as recomendações e lições aprendidas para os seus projetos de infraestrutura rodoviária.

No estudo de Mohajeri Borje Ghaleh *et al.* (2021) com foco nos fatores de atraso na fase de execução de projetos de construção de estradas, foram utilizados o gráfico de causa e efeito

Ishikawa e o método do processo de hierarquia analítica (AHP). O gráfico de *Ishikawa* forneceu uma ferramenta que auxilia para identificar e priorizar qualitativamente os atrasos (Figura 2) conforme a opinião dos especialistas e, a metodologia AHP forneceu um método poderoso para identificar quantitativamente os atrasos destes projetos.

Figura 2 - Gráfico *Ishikawa* com causas e efeitos dos atrasos nos projetos de construção de estradas, que prioriza qualitativamente os atrasos do ponto de vista da opinião dos especialistas.



Fonte: adaptado de Mohajeri Borje Ghaleh *et al.* 2021.

Stević *et al.* (2022) utilizaram o método *fuzzy* PIPRECIA (*Pivot Pairwise Relative Criteria Relevance Assessment*) para calcular a importância independente de cada fator de atraso. E com os resultados concluíram as cinco principais causas de atrasos em projetos de construção de estradas na República do Benin, sendo: financiamento do projeto, lentidão no processo de pagamento pelo cliente, escassez de profissionais qualificados, atraso no reembolso de indenização (proprietários de terras) e, aumento de preços. A partir do método aplicado, foi concluído que o grupo de atraso financeiro é o mais crucial para tomada de decisão.

2.2.3 Grupos principais nos atrasos na infraestrutura rodoviária

Existem várias causas ou fatores de atrasos que foram identificados por pesquisadores de projetos no setor de construção de rodovias como afirmaram Danial e Misnan (2022). Alguns dos pesquisadores categorizaram essas causas ou fatores com base em grupos principais. Como sugere Aziz e Abdel-Hakam (2015), os grupos principais são:

- (1) Grupo relacionado ao proprietário, que consistem em dificuldades financeiras do proprietário e atraso no pagamento de obras concluídas;
- (2) Grupo relacionado ao empreiteiro, que envolvem má gestão e supervisão do local, dificuldades financeiras do contratado, métodos de construção obsoleto ou inadequados, estimativas imprecisas, subempreiteiro incompetente e erros durante a construção;
- (3) Grupo relacionado a consultores, que consistem na má assistência à gestão de projetos, má gestão de contratos, inspeção lenta de obras concluídas e erros no projeto;
- (4) Grupo relacionado ao projeto, que compreendem mudanças de projeto, trabalhos adicionais e fluxo lento de informações entre as partes envolvidas;
- (5) Grupo de materiais e mão de obra, que envolvem escassez de materiais e escassez de trabalhadores qualificados e;
- (6) Grupo relacionado a fatores externos, que consistem em condições imprevistas do local, flutuações de preços, mau tempo e obstáculos do governo.

Com o agrupamento, as causas de atrasos ficam categorizadas de acordo com o seu grupo principal (LE-HOAI; LEE; LEE, 2008; MAHAMID; BRULAND; DMAIDI, 2017) e, isso permitem que nos projetos sejam implementadas ações de mitigação para evitar atrasos (ZIDANE; ANDERSEN, 2018). Consequentemente é vital identificar agrupando e classificando os fatores dos atrasos nos projetos rodoviários, para serem analisados e gerenciados em um processo sistemático, com várias fases do ciclo de vida, podendo ser gerenciados, minimizados e mitigados (MELAKU BELAY *et al.*, 2021). Sendo assim, a identificação dos fatores e as causas dos atrasos nos projetos rodoviários possibilitam avaliar seus efeitos e as ações de mitigação.

2.3 CONTEXTO DOS ATRASOS NO BRASIL

Como já discutido anteriormente, sobre os atrasos e suas várias causas que podem ser vistas na literatura por alguns pesquisadores, no Brasil essa realidade é presente em praticamente todas as construções (FILIPPI; MELHADO, 2015; ALVARENGA *et al.*, 2021; CARVALHO *et al.*, 2021). O histórico de atrasos também afeta significativamente os projetos brasileiros. Este problema como visto é gerado por vários fatores.

É no contexto brasileiro que alguns pesquisadores como Muianga; Granja; Ruiz (2015) em sua pesquisa com a abordagem da *Systematic Literature Review* (Revisão Sistemática de Literatura – RSL) afirmaram a escassez de estudos na América Latina, particularmente no Brasil para os atrasos. Todavia, Souza, Souza Júnior e Costa (2020) em busca de pesquisas relacionadas ao atraso de obras públicas de edificações brasileiras demonstraram a mudança desta percepção para esta problemática.

Na busca por pesquisadores e investigações acerca dos atrasos no Brasil, alguns estudos do mais recente aos mais antigos puderam ser vistos nas pesquisas de: Pereira (2012); Filippi e Melhado (2015); Muianga, Granja e Ruiz, (2015) ; Reis *et al.* (2016); Freitas e Carvalho (2017); Mauês *et al.* (2017); Colpo *et al.* (2018); Hamm (2018); Alvarenga (2019); Beltrão e Carvalho (2019); Brandstetter e Ribeiro (2020); Alvarenga *et al.* (2021); Almeida *et al.* (2021); Carvalho *et al.* (2021). Estes pesquisadores estudaram obras públicas e privadas, como edifícios residenciais, construções e ampliações, obras de universidades e institutos públicos, hospitais universitários federais, obras de edificações na etapa de execução e obras de construções em geral.

Estes estudos compartilharam as causas dos atrasos encontrados. Pereira (2012) relatou que nos projetos de edifícios residenciais em Santa Catarina os atrasos foram mais comumente causados pela escassez de mão de obra, mudanças solicitadas pelo cliente final, mão de obra não qualificada, atrasos nos trabalhos dos subempreiteiros e retrabalho em virtude de erros.

Filippi e Melhado (2015) utilizaram o Índice de Importância encontrando as causas de atraso para empreendimentos imobiliários em São Paulo. Dentre as causas mais frequentes compiladas na pesquisa foram a má gestão do canteiro, interferências dos subempreiteiros ou

trabalho inadequado, atrasos nos trabalhos dos subempreiteiros, escassez da mão de obra, entre outras causas das 14 causas encontradas.

Mais tarde, Almeida *et al.* (2021) no Distrito Federal, também para empreendimentos imobiliários, revelaram 24 fatores de atrasos. Estes foram categorizados de acordo com os grupos de mão de obra, projetos, gestão e fatores externos.

Reis *et al.* (2016) para as obras de construções em geral no Pará, consolidaram que as principais causas foram: atraso na entrega de materiais, retrabalho devido a erros durante a construção falta de compromisso da mão de obra, atraso na entrega de materiais, ineficiência do setor de compra, baixo nível de produtividade da mão de obra, condições meteorológicas (calor, chuva, entre outras), atrasos nos trabalhos da mão de obra, recebimento de projetos incompletos, atraso nos pagamentos ao longo da obra, dificuldade financeira do cliente, atraso na fabricação de materiais.

Maués *et al.* (2017) pesquisaram em 142 projetos na Amazônia brasileira entre os anos de 2005 e 2015 e constataram que 81,69% das obras sofreram atrasos em seus cronogramas originais, correspondendo a 116 projetos entregues fora do prazo. Destacam ainda, que o desempenho da construção civil é muito inferior em termos de cumprimento de prazos contratuais, principalmente nos países em desenvolvimento, se comparado a outros setores, como a indústria de transformação.

No estudo de Colpo *et al.* (2018) investigaram as principais causas dos aditivos de tempo nas construções, reformas e ampliações. Foi descoberto que a alteração do local da obra, alteração nos projetos/ajustes, inclusão de projeto, clima, entre outras causas, implicam nos atrasos.

Para as obras públicas de universidades, institutos e hospitais universitários federais Alvarenga (2019) encontrou 24 fatores de influência em aditivos de tempo, categorizados de acordo com classificação ABC. Alvarenga *et al.* (2021) relatou que dentre os aditivos contratuais das obras públicas das instituições federais de ensino, dos fatores que influenciaram em aditivos, categorizados de acordo com classificação ABC, 24 eram no prazo e 13 no custo.

Hamm (2018) nas obras de edificações na etapa de execução no Paraná, a partir da classificação dos fatores de maior impacto, identificou que o clima / tempo, mão de obra, o projeto, cliente, cronograma, material, fiscalização e controle, máquinas e equipamentos eram grupos mais influentes na etapa de construção de edificações.

A literatura apresentada acima constituiu uma breve revisão das causas dos atrasos na construção brasileira. As pesquisas revelaram que existem várias causas ou fatores de atrasos que foram identificados por pesquisadores no setor de construção. No passado, a maioria dos pesquisadores voltaram a encontrar as causas do atraso no projeto de construção através de vários métodos e análises. Entretanto, investigações sobre as causas do atraso e suas influências nos projetos e obras de infraestrutura de rodovias ainda é limitado e, requer, portanto, mais atenção precisa.

Saber que o Brasil está em desenvolvimento de pesquisas nos últimos anos, mostra que as preocupações com a análise das causas de atrasos e suas categorias podem ajudar os profissionais de gerenciamento de projetos brasileiros a entender melhor as causas no cronograma que afetam a conclusão eficiente. Os diferentes desafios e peculiaridades a depender do local das diferentes regiões, pode ser um obstáculo à disseminação dos atrasos.

2.4 MÉTODOS DE APOIO MULTICRITÉRIO À DECISÃO OU MULTI-CRITERIA DECISION MAKING (MCDM)

Os métodos multicritérios (metodologia Multicritério de Apoio à Decisão -*Multiple Criteria Decision Aid*) (MCDA) são técnicas de apoio à decisão (GONÇALVES; PINHEIRO; FREITAS, 2003). Este por vez possui várias ferramentas e métodos que podem ser aplicados em diferentes campos, desde finanças até projetos de engenharia. Este método considera diferentes critérios qualitativos e quantitativos que precisam ser fixados para encontrar a melhor solução. Além disso, nesses problemas, os grupos de especialistas fornecem diferentes pesos aos critérios que se baseiam na importância de cada critério naquele caso específico (TAHERDOOST; MADANCHIAN, 2023).

De acordo com Hota, Singhai e Shukla (2012) o MCDA pode ser caracterizado como um conjunto de métodos utilizados para lidar com o processo de tomada de decisão quando se tem várias alternativas e critérios conflitantes. Ele é usado para lidar com as etapas de

estruturação, tomada de decisão e planejamento quando o domínio possui múltiplos critérios para alcançar uma solução ótima com base nas preferências dos decisores (SHAHSAVARANI; AZAD MARZ ABADI, 2015)

Para Macedo *et al.* (2021) a análise de decisão de múltiplos critérios consiste em um conjunto de procedimentos sistemáticos para analisar problemas de decisão complexos onde predominam situações de dúvida ou conflitos de informação.

Como os métodos MCDA analisam os critérios tanto quantitativos como qualitativos como relatou Cristofolini (1998) (QUADRO, 2012), os problemas de decisão são analisados para que os seus diversos critérios com suas respectivas importâncias sejam otimizados, ao mesmo tempo. Pode-se assim assumir que cada critério precisa ser maximizado, e que um valor alto é preferível a um valor mais baixo (BERZINS, 2009). Por exemplo, ao construir uma estrada, uma empresa busca minimizar custos e também minimizar impactos ambientais (GOODWIN; WRIGHT, 2000).

Gonçalves, Pinheiro e Freitas (2003) disseram que os métodos multicritérios de apoio à decisão têm ajudado os agentes em decisões complexas e em todos os níveis. Para os autores os elementos fundamentais que estão presentes nos processos de decisão são os seguintes:

- 1) Obter respostas às perguntas enfrentadas por um decisor em um processo de decisão;
- 2) Tornar transparente toda potencial decisão;
- 3) Aumentar a coerência entre a evolução de um processo de decisão, os objetivos, e o sistema de valor do processo.

No MCDM existem diferentes métodos, que possuem méritos e deméritos específicos e diferentes (TAHERDOOST; MADANCHIAN, 2023) que precisam ser conhecidos para que haja a certificação de que o método escolhido é o mais apropriado para o fim desejado.

Nesta pesquisa para obtenção dos resultados esperados, será utilizado o *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Este foi escolhido porque pode lidar com aspectos qualitativos e quantitativos de um problema de decisão, e por ser um dos métodos mais comumente utilizados para solucionar problemas de tomada de decisão multicritério na política, economia, ciências sociais e na área de gestão (KANG; LEE; LIN, 2010).

Dessa forma, convém aplicar o método AHP dentro do contexto desta pesquisa que busca identificar os fatores e as causas de atraso na entrega dos projetos de infraestrutura rodoviária pública ao consultar especialistas brasileiros na área.

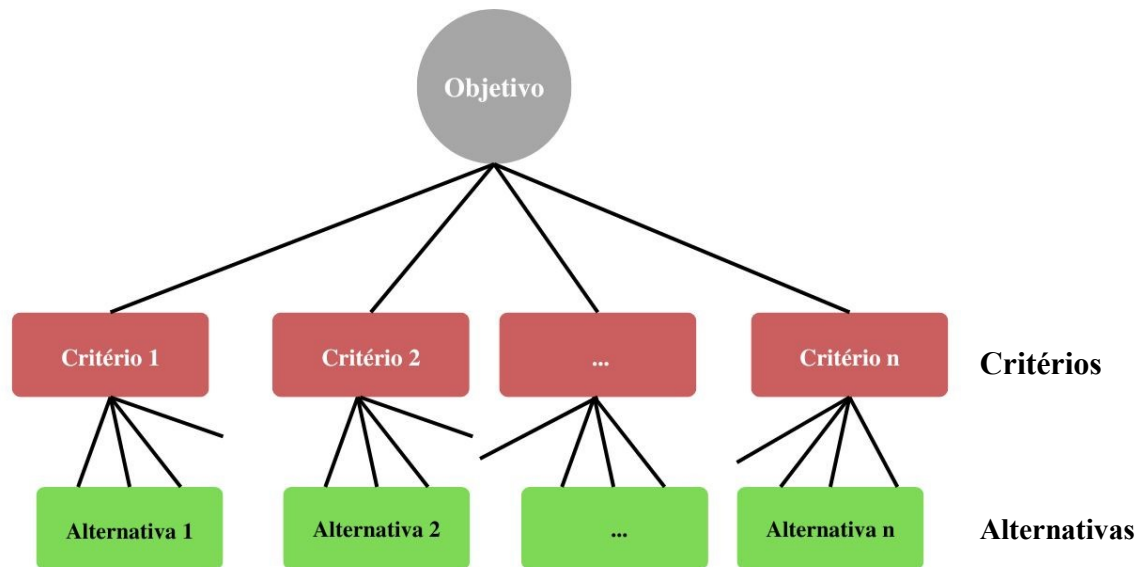
2.4.1 Método Analytic Hierarchy Process (AHP)

Este método foi desenvolvido por Thomas Saaty, na década de 1980 (MACEDO *et al.*, 2021). O processo analítico hierárquico é um dos sistemas do MCDA mais precisamente concebidos (SAATY, 2003) e são iniciadas pela especificação do objetivo principal da tomada de decisão.

O método AHP ou processo de hierarquia analítica sistematiza problemas complexos por meio de uma estrutura hierárquica (LIN; FAN; CHEN, 2022) onde se identificam as importâncias dos atributos que estão sendo investigados (QUADRO, 2012). Para Saaty situações em que a tomada de decisões corre o risco de não se obterem condições de confiabilidade o método AHP pode ser usado para dividir problemas complicados em atributos em uma hierarquia, justificando-o para categorizar e priorizar.

De acordo com Saaty (1994) a estrutura de hierarquia é linear e segue de cima para baixo, desde o fator mais genérico e menos controlável para o mais concreto e controlável, terminando no nível das alternativas: metas, objetivos, critérios, subcritérios e alternativas, conforme a Figura 3:

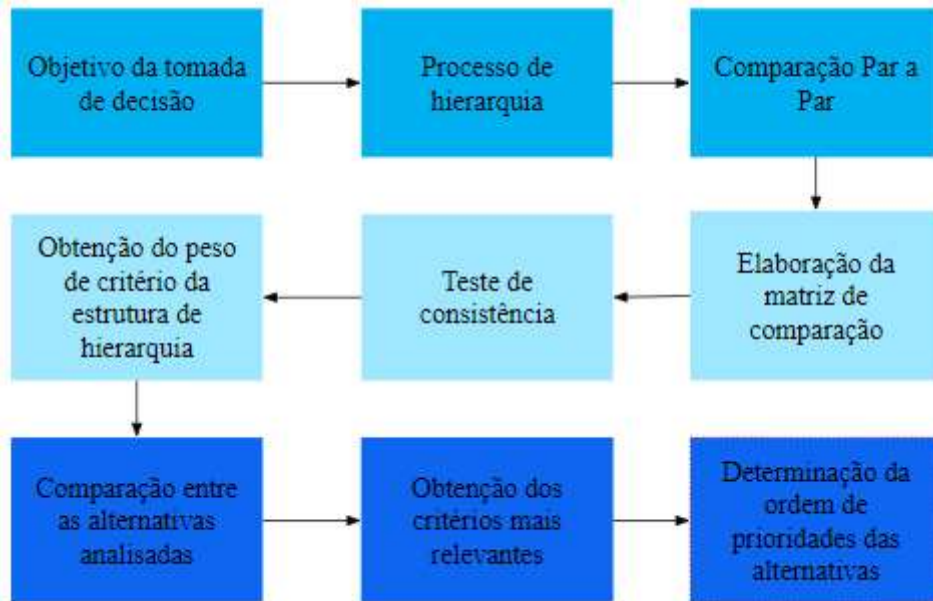
Figura 3- Estrutura hierárquica básica baseada no AHP.



Fonte: Adaptado de Bertahone e Brandalise (2017).

Então se pode dizer que a aplicação do AHP inicia por meio da estruturação de múltiplos critérios em uma hierarquia, com a avaliação da importância relativa de cada um destes critérios. A partir dessa estruturação por meio de comparações par a par, a importância relativa dos objetivos e a preferência relativa das alternativas são identificadas. Assim, conclui-se uma escala de prioridade das alternativas (Figura 4).

Figura 4 - Processo de aplicação do método AHP.



Fonte: autora.

Por ser um método que exige a realização de procedimentos matemáticos complexos, pode-se utilizar *Softwares* de interface amigáveis como, por exemplo, o *Expert Choice* (EXPERT CHOICE, 2023), *Decision Lens* (DECISION LENS INC., 2023) ou o *SuperDecisions* (CREATIVE DECISIONS FOUNDATION, 2022).

2.4.2 Metodologia AHP

Com o método AHP, um problema é estruturado em níveis hierárquicos onde são definidos os critérios e subcritérios para avaliar as opções. Neste método é necessário o julgamento de especialistas para definir a importância de cada critério e subcritério já definido anteriormente. Este julgamento é realizado por meio da comparação pareada, ou seja, dois critérios são avaliados a saber qual é o mais importante e quantas vezes é essa importância em relação ao outro.

Estes números são calculados de acordo com o julgamento dos especialistas, utilizando termos linguísticos baseados na escala de Saaty em nove níveis (Tabela 1):

Tabela 1 - Escala fundamental de Saaty (2004) para avaliação e comparação em pares com base no grau de importância.

Valor da escala Numérica	Prioridade	Descrição / Explicação verbal
1	Ambos elementos são de igual importância	Ambos elementos contribuem com a propriedade de igual forma
3	Moderada importância de um elemento sobre o outro	A experiência e a opinião favorecem um elemento sobre o outro
5	Forte importância de um elemento sobre o outro	Um elemento é fortemente favorecido
7	Importância muito forte de um elemento sobre o outro	Um elemento é muito fortemente favorecido sobre o outro
9	Extrema importância de um elemento sobre o outro	Um elemento é favorecido pelo menos com uma ordem de magnitude de diferença
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre as opiniões adjacentes	Usados como valores de consenso entre as opiniões

Fonte: Adaptado de Bertahone; Brandalise, (2017); Tavassolirizi *et al.* (2020).

O próximo passo é a elaboração de um conjunto de matrizes quadradas para a comparação pareada (Figura 6). Essa é construída com cada elemento em um nível superior usado para comparar os elementos no nível imediatamente abaixo usando a escala de importância fundamental.

Figura 5 - Matriz de comparação pareada.

$$\begin{array}{c}
 c_1 \qquad \qquad \qquad c_2 \qquad \qquad \dots \qquad \qquad \qquad c_n \\
 \begin{array}{l}
 c_1 \\
 c_2 \\
 \vdots \\
 c_m
 \end{array}
 \left[\begin{array}{cccc}
 (1, 1, 1) & (1/a_{1[1,2]}, 1/a_{2[1,2]}, 1/a_{3[1,2]}) & \dots & (1/a_{1[1,n]}, 1/a_{2[1,n]}, 1/a_{3[1,n]}) \\
 (1/a_{3[1,2]}, 1/a_{2[1,2]}, 1/a_{1[1,2]}) & (1, 1, 1) & \dots & \tilde{x}_{2n} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 (1/a_{3[1,n]}, 1/a_{2[1,n]}, 1/a_{1[1,n]}) & \dots & \dots & (1, 1, 1)
 \end{array} \right]
 \end{array}$$

Fonte: Macedo *et al.*, 2021.

Os pesos relativos do fator de cada nível em relação a um fator adjacente ao nível superior são calculados como os componentes de um autovetor normalizado associado ao maior autovalor de sua matriz de comparação. Logo para cada elemento do nível abaixo, somam seus valores ponderados e obtêm sua prioridade local e global. Os pesos compostos das alternativas de

decisão são então determinados pela agregação dos pesos através da hierarquia (RABBANNI; RABBANNI, 1996; HOSSEIN; KANG; KIM, 2015; TAVASSOLIRIZI *et al.*, 2020; LIN; FAN; CHEN, 2022).

A análise de consistência das matrizes de comparações pareadas pode ser feita pelo índice de consistência (IC). A razão de consistência (RC) é a razão entre o índice de consistência do conjunto de julgamentos e o índice aleatório (RI), conforme Equação 1, da matriz aleatória correspondente no método AHP.

$$CI = RC/RI \quad (1)$$

A razão de consistência (RC) é usada para estimar a consistência das comparações pareadas, ou seja, um valor RC superior a 10% indica que os julgamentos estão no limite de inconsistência e os pesos podem levar a conclusões imprecisas. Saaty (2003) propôs que este método para medir as inconsistências estimando primeiro o índice de consistência (IC), em que RC não deve ser maior que 0,10, caso contrário, o resultado da comparação pareada deve ser rejeitado, sendo necessário revisar a matriz de comparação (Equação 1). Nesse caso, as comparações pareadas devem ser revisadas e renovadas pelo tomador de decisão.

O índice de consistência da matriz de comparação de pares (CI) é calculado a partir da relação entre o tamanho da matriz “n” e seu maior autovalor λ_{max} , como mostra a Equação 2:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

A determinação do índice de consistência aleatória (RI) é feita empiricamente considerando uma amostra gerada aleatoriamente de 500 matrizes recíprocas positivas (PHUANGPORNPIKAK; TIA, 2013).

Os valores atribuídos a RI por Saaty e Vargas (2012), de acordo com a ordem da matriz “n”, são mostrados conforme a Tabela 2:

Tabela 2- Valores empíricos do Índice de Consistência Aleatória (IR).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

Fonte: Saaty e Vargas (2012).

O índice de consistência da matriz de comparação de pares (CI) é calculado a partir da relação entre o tamanho da matriz (n) e o seu maior valor próprio (λ_{max}), como se mostra na Equação 3:

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \quad CI = \lambda_{max} - n - 1 \quad (3)$$

O preenchimento da matriz de decisões para fazer a normalização dos valores atribuídos aos critérios comparados é feito. Os pesos dos critérios são determinados por pares de comparação entre os critérios. Um total de (n-1) comparações são necessárias. Como proposto por Macedo *et al.* 2020 e segundo Sánchez-Lozano, García-Cascales e Lamata (2016) os pesos são obtidos como mostra a Equação 4:

$$(w_{C_{ia}}, w_{C_{ib}}, w_{C_{ic}}) = \left[\frac{C_{ia}}{\sum_{i=1}^n C_{ic}}, \frac{C_{ib}}{\sum_{i=1}^n C_{ib}}, \frac{C_{ic}}{\sum_{i=1}^n C_{ia}} \right] \quad (4)$$

Onde: wci representa a ponderação dos critérios pelo especialista i, e $i = 1, 2, 3$ e C_i são as comparações entre os critérios para os pares.

O vetor de prioridade para cada fator em cada nível é chamado de peso local e os pesos globais são calculados multiplicando os pesos locais por fatores, subfatores e subsubfatores (ALSUWEHRI, 2011; HOSSEIN, KANG; KIM, 2015).

A partir dos termos linguísticos e respectivos valores difusos, são construídos uma matriz de decisão \tilde{D} (Figura 7). Na matriz \tilde{D} , x_{ij} representa o valor de A_i alternativo em relação ao critério C_j , $W = [w_1, w_2, \dots, w_{10}]$ é o vetor de ponderação associado ao critério, A_m são as alternativas, e x_{mn} são os valores determinados pelos especialistas.

Figura 6 - Matriz de decisão - método AHP.

$$\tilde{D} = \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} w_1 & w_2 & \dots & w_n \\ c_1 & c_2 & \dots & c_n \end{array} \\ \hline \begin{array}{c} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{array} \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} \end{array} \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$$

Fonte: Macedo *et al.*, 2021.

A Matriz \tilde{D} é normalizada para que a escala seja a mesma para todos os critérios (Equação 5). As ponderações dos critérios nos problemas de tomada de decisão não têm a mesma média e nem todos são igualmente importantes. O valor normalizado ponderado v_{ij} é calculado pela Equação 6:

$$\underline{n}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij})^2}} \quad j = 1, 2, \dots, n; i = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

$$\underline{v}_{ij} = w_{ij} \otimes \underline{n}_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, n; i = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

As soluções ideais positivas (PIS, A+) e negativas (NIS, A-) fuzzy são determinadas de acordo com a Equação 7 e a Equação 8, respectivamente:

$$A^+ = \left\{ \tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_m^+ \right\} \quad (7)$$

$$A^- = \left\{ \tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_m^- \right\} \quad (8)$$

Onde: $v_1^+ = (1, 1, 1)$ e $v_1^- = (0, 0, 0)$.

As distâncias para PIS (D+) e para NIS (D-) são calculadas pela Equação 9 e pela Equação 10, respectivamente:

$$D_i^+ = \sum_{j=1}^n d_v \left(\frac{v}{-j}, \tilde{v}_j^+ \right) \quad (9)$$

$$D_i^- = \sum_{j=1}^n d_v \left(\frac{v}{-j}, \tilde{v}_j^- \right) \quad (10)$$

Finalmente, os coeficientes de aproximação CC_i são calculados para cada uma das alternativas avaliadas, de acordo com a Equação 11. O valor CC_i varia entre 0 e 1. Quanto mais próximo de 1, mais elevada é a prioridade da alternativa. A partir disso, a classificação final das alternativas é definida a partir dos valores CC_i .

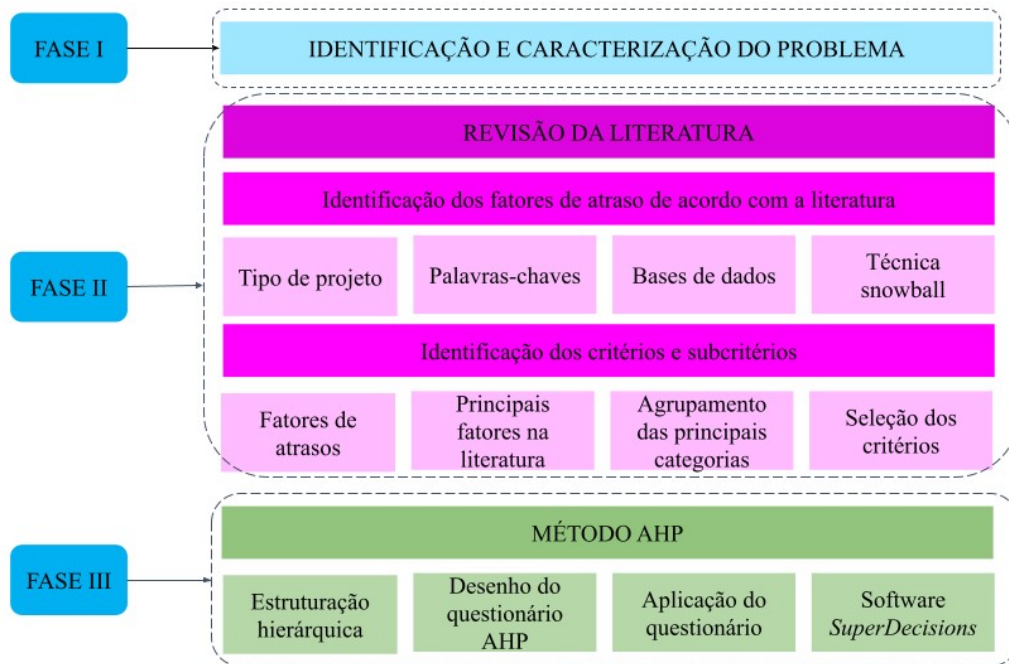
$$CC_i = D_i^- / (D_i^+ + D_i^-) \quad (11)$$

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

Este estudo consistiu em uma pesquisa aplicada e exploratória com uma abordagem qualitativa. Entende-se que a busca pela solução da problemática do objeto de pesquisa (KRUEGER, 2014), tem caráter exploratório (GIL, 2019) com a investigação de fatores/variáveis das principais causas de atrasos na infraestrutura rodoviária de projetos de obras públicas, sendo adotada uma abordagem qualitativa, para melhorar e enriquecer os resultados e satisfazendo os objetivos.

A metodologia desenvolvida nesta pesquisa combinou a busca na literatura de fatores/variáveis das principais causas de atrasos nos projetos de infraestrutura rodoviária no Brasil e no mundo e, posteriormente, foi aplicado um questionário utilizando a metodologia AHP com especialistas com experiência em projetos de infraestrutura rodoviária, para priorizar as causas relacionadas a atrasos em obras públicas de infraestrutura no Brasil. As fases desenvolvidas estão apresentadas no fluxograma da Figura 7.

Figura 7 - Fluxograma da metodologia adotada.



Fonte: autora.

3.1 Fase 1 – Identificação e Caracterização do Problema

Identificando o problema e com a delimitação desta pesquisa, elaborou-se uma investigação na literatura, que pode ser caracterizada como uma pesquisa descritiva determinando as variáveis e seus personagens em uma situação particular e, aproximou-se de uma pesquisa exploratória dos fundamentos descritos como importantes para ajudar a desenvolver uma melhor compreensão do problema no objeto da pesquisa (CAVANA, DELAHAYE; SEKERAN, 2001).

Estas por sua vez incluíram estudos na literatura relacionados aos atrasos da infraestrutura rodoviária. Um questionário foi utilizado para identificação dos fatores para o contexto local, consultando os especialistas. Por fim, o processo de hierarquia analítica AHP, em uma abordagem de tomada de decisão multicritério MCDA, foi aplicada para seleção de fatores que condizem com a realidade do contexto local.

3.2 Fase 2 – Revisão da Literatura

A pesquisa será realizada por meio de um levantamento dos artigos publicados sobre os fatores de atrasos na infraestrutura rodoviária em periódicos indexados e eventos científicos nas bases de dados: *Engineering Village*, *Science Direct*, *Scopus*, *Emerald Insights*, *Springer*, *Taylor e Francis Online*, por serem editoras internacionais com resumos e citações da literatura revisada por pares, e o *Google Acadêmico*.

3.3 Fase 3 – Método AHP

Para a modelagem do problema conforme o método AHP, primeiramente é necessária a escolha de alguns critérios para que a estrutura hierárquica seja montada. Dessa forma, tomando como base a revisão da literatura e sintetizadas as informações, foi projetada uma lista com os fatores selecionados. A lista foi uniformizada com fatores similares. A partir disso, pôde-se realizar a frequência dos fatores de atrasos na infraestrutura rodoviária apresentados nos artigos escolhidos.

Dessa maneira, os fatores selecionados serviram como subcritérios e definiu-se uma lista preliminar. Esta lista de subcritérios foi revisada, por meio de discussões com especialistas e acadêmicos, para a realidade dos projetos de infraestrutura rodoviária financiados pelo governo no Brasil.

Baseada nestes fatores foi realizada o agrupamento de acordo com as características de cada um, para cada grupo principal, que serviram como critérios, ou grupos principais. Os diferentes grupos ficaram de acordo com a parte ou fator envolvido no atraso. As quatro principais etapas podem ser vistas a seguir (Figura 8):

Figura 8 - Fluxograma do processo de seleção de critérios.



Fonte: autora.

Com a lista de fatores, decidiu-se optar pelo seguinte agrupamento, que foi baseado em 5 critérios (contratada; projetista; gestor, materiais, equipamentos e mão de obra; e fatores externos). Assim, foi estruturada uma lista de fatores de atrasos (Subcritérios) e o seu grupo relacionado (Critérios), para posteriormente serem selecionados os fatores, seleção de critério, para utilizá-los no questionário AHP.

3.3.1 Desenho do questionário AHP

Foi elaborado um questionário com base nos fatores de atraso considerados, que foram selecionados e adaptados para os projetos de infraestrutura rodoviária pública no Brasil. A utilização do questionário serviu como abordagem qualitativa (CAVANA; DELAHAYE; SEKARAN, 2001) para obter e analisar dados que podem ser informações importantes. A estruturação foi realizada baseada no modelo AHP e a entrada dos dados foi a lista dos critérios (Brasil), que serviu como base para o questionário.

Na organização dos critérios e subcritérios, o método AHP em seus cálculos foi simplificado utilizando-se o software *SuperDecisions* 3.2, realizando uma estrutura hierárquica dos fatores.

Para entendimento do respondente, com o caráter informativo, foi colocado o objetivo da pesquisa, visando a compreensão do entrevistado: identificar as causas do atraso nos projetos de infraestrutura de transporte rodoviário, considerados pelos especialistas como relevantes, e os fatores que mais impulsionam os mesmos, além de identificar quais fatores devem ter prioridade na tomada de decisões para evitar ou mitigar os atrasos nos próximos projetos de

transporte rodoviário público do Brasil. Em seguida foi explicado o processo do formulário acerca das seções. O questionário elaborado foi dividido em seções que são as seguintes:

Seção A: Informações gerais dos respondentes.

Seção B: Opinião dos especialistas sobre os diferentes critérios, analisando par a par, quanto um é mais importante em relação ao outro (contratada, projetista, gestor, materiais, equipamentos e mão de obra, e fatores externos). A mesma estratégia foi utilizada para e dos subcritérios a fim de aplicar o método do AHP. (Composta por questões objetivas)

Seção C: Opinião especializada de quais outros critérios acreditava serem relevantes e que não foram mencionados no questionário. (Composta por questão subjetiva)

A primeira seção consistiu de algumas perguntas gerais, como o setor de atuação profissional, qual o nível mais alto de formação, ocupação atual, anos de experiência em projetos de infraestrutura que envolve licitações públicas, técnica de gerenciamento de projetos utilizado e, frequência do uso de tecnologias nas atividades de design, planejamento, cronograma e controle de projetos (nunca, raramente, eventualmente, frequentemente e muito frequente).

A segunda seção foi concebida como um questionário de pares com base na importância dos fatores de atraso nos projetos de infraestrutura rodoviária, que foi questionado sobre a opinião deles, em diferentes níveis, por meio do modelo AHP em uma escala de 1 a 9, ou seja, escala fundamental de Saaty (2004) para avaliação e comparação em pares com base no grau de importância.

As questões eram qual critério (fator) era mais importante em relação ao outro e, entre os critérios e subcritérios selecionados quanto um contribui mais em relação ao outro para o atraso na obra de projetos de infraestrutura rodoviária pública no Brasil.

A importância dos fatores utilizou escores da escala *Likert*, conforme aplicado por Macedo *et al.* (2020), nas dimensões (1,3,5,7 e 9) e, foram categorizadas da seguinte forma: importância igual (1), importância pequena (3), importância grande (5), importância muito grande (7) e importância extrema (9), como comparação, conforme a escala de Saaty na determinação dos pesos de cada dimensão e importância de cada um dos fatores (critérios) e subfatores (subcritérios).

3.3.2 Aplicação do questionário AHP

Após a concepção do questionário e seleção dos especialistas, os questionários foram enviados. A pesquisa por questionário foi desenvolvida para obter opinião especializada de profissionais que se deu por profissionais envolvidos no setor público, meio acadêmico e execução de obras de infraestrutura rodoviária brasileira, experientes em projetos de infraestrutura rodoviária do Brasil. Ele foi disponibilizado via *Google Forms*, uma ferramenta de pesquisa online gratuita.

O *software* de apoio foi o *SuperDecisions 3.2*, uma ferramenta de análise prática e rápida de suporte à decisão que implementa o AHP, para analisar os resultados do questionário aplicado aos especialistas.

O *software SuperDecisions 3.2*, é uma ferramenta de análise prática e rápida de suporte à decisão que implementa o AHP, auxilia na comparação pareada, em que são colocadas as respostas do questionário realizado. Este *software* programa o *Analytic Network Process ANP* (processo de rede analítica) para tomada de decisão com dependência e *feedback*, uma teoria matemática para tomada de decisão desenvolvida por Thomas L. Saaty. O processo ANP é uma extensão do processo de hierarquia analítica AHP para tomada de decisão (ADAMS; SAATY, 2003). Sua interface permite apoio multicritério à decisão, para estruturar e aperfeiçoar, gerando resultados organizados. Neste ainda pode ser calculada a pontuação final das alternativas, pela comparação binária de critérios por meio da escala fundamental de Saaty apresentada na Tabela 2.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Essa seção fornece uma visão geral dos resultados obtido a partir da metodologia anteriormente abordada. Com base na literatura e discussões com especialistas, dois níveis de fatores de atrasos foram encontrados, para identificar os fatores que mais impulsionam os atrasos em projetos e obras de infraestrutura rodoviária pública no Brasil. Os dois níveis foram categorizados como fatores principais (Critérios) e subfatores (Subcritérios). Acredita-se que essas sejam as causas principais do atraso dos projetos e construção da infraestrutura rodoviária.

4.1 Revisão da literatura

Para a coleta de dados, utilizou-se as palavras-chave *delay*, *Road infrastructure*, *schedule delays*, *Roadconstruction project* e *public construction*, para alcançar as pesquisas no campo da infraestrutura rodoviária. Em seguida, os termos *construction industry*, *Road infrastructure construction project* e *delays Road infrastructure*, direcionou as buscas para todos os títulos, resumos e palavras-chave. Considerou-se alcançar o máximo de publicações que remetesse a estes parâmetros, para uma maior quantidade de fatores de atrasos na infraestrutura de transporte rodoviário.

Alcançou-se inicialmente 67 artigos. Com o intuito de analisar estudos acadêmicos que atendem aos objetivos deste estudo, foi realizada uma leitura do resumo de todos os trabalhos, e foram adotados os seguintes critérios de inclusão: ser um estudo disponível na íntegra, constar informações de projetos de infraestrutura rodoviária, indicar fatores de atrasos em projetos e obras de rodovias.

Não foram considerados trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses, e estudos replicados foram descartados. Após a obtenção do total de pesquisas (67), nas plataformas, foram excluídos 23 artigos que não eram referentes à infraestrutura de transportes rodoviários. Resultando assim em 44 artigos.

Para alcançar o número representativo foi utilizada a técnica *snowball*, que opera com redes de referência, visando identificar nos artigos obtidos a partir da busca dos termos, pesquisas que foram citadas nos artigos selecionados (THOMÉ; SCAVARDA; SCAVARDA, 2016). Após essa etapa mais 11 artigos puderam ser alcançados.

A Figura a seguir mostra as etapas da revisão da literatura:

Figura 9 - Etapas da revisão realizada na presente pesquisa.



Fonte: autora.

Para o desenvolvimento dessa pesquisa, foram coletados dados de 55 estudos de diferentes países, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3- Literatura utilizada para coleta de dados (Continua).

Fonte/Autor	Local	Tipo de Projeto	Quantidade de fatores de atrasos identificados	Ano
Noulmanee <i>et al.</i>	Tailândia	<i>Highway</i>	4	1999
Vidalis e Najafi	Flórida	<i>Highway</i>	4	2002
Ellis e Thomas	Califórnia/ Flórida/Geórgia/Nova York/Carolina do Sul/Wisconsin	<i>Highway</i>	10	2003
Le-Hoai, Lee e Lee	Vietnã	<i>Road</i>	5	2008
Kaliba, Muya e Mumba	Zâmbia	<i>Road</i>	13	2009
Chileshe e Berko	Gana	<i>Road</i>	7	2010
Nasir, Gabriel e Choudhry	Paquistão	<i>Highway</i>	20	2011
Mahamid, Bruland e Dmaid	Palestina	<i>Highway and Road</i>	5	2012
Wijekoon e Attanayake	Sri Lanka	<i>Road</i>	5	2012

Fonte: autora.

Tabela 3 - Literatura utilizada para coleta de dados (Continuação).

Fonte/Autor	Local	Tipo de Projeto	Quantidade de fatores de atrasos identificados	Ano
Kamanga e Steyn	Malawai	<i>Road</i>	10	2013
Ezeldin e Abdel-Ghany	Egito	<i>Road</i> + projetos de engenharia	13	2013
Alinaitwe, Apolot e Tindiwensi	Uganda	<i>Road</i> + projetos de engenharia	5	2013
Patil <i>et al.</i>	Índia	<i>Road</i>	6	2013
Ondari e Gekara	Quênia	<i>Road</i>	3	2013
Hasan, Suliman e Malki	Bahrein	<i>Road</i>	17	2014
Atibu	Quênia	<i>Road</i>	5	2015
Islam <i>et al.</i>	Bangladesh	<i>Road</i> + projetos de engenharia	10	2015
Bekr	Iraque	<i>Road</i> + projetos de engenharia	10	2015
Al-Hazim e Salem	Jordânia	<i>Road</i>	4	2015
Honrao e Desai	Índia/Bahrein	<i>Highway</i>	15	2015
Santoso e Soeng	Camboja	<i>Road</i>	10	2016
Aziz e Abdel-Hakam	Egito	<i>Road</i>	20	2016
Elawi, Algahtany e Kashiwagi	Arábia Saudita	<i>Road</i> e <i>Bridg</i>	10	2016
Tesfa	Etiópia	<i>Asphalt Road</i>	10	2016
Aforla, Woode e Amoah	Gana	<i>Highway</i>	10	2016
Ekanayake e Perera	Sri Lanka	<i>Highway</i>	5	2016
Khalid <i>et al.</i>	Sudão	<i>Road</i>	20	2017
Mahamid a	Arábia Saudita	<i>Road</i>	5	2017
Mahamid b	Cisjordânia na Palestina	<i>Road</i>	5	2017
Amoatey e Ankrah	Gana	<i>Road</i>	5	2017

Fonte: autora.

Tabela 3 - Literatura utilizada para coleta de dados (Continuação).

Fonte/Autor	Local	Tipo de Projeto	Quantidade de fatores de atrasos identificados	Ano
Venkateswaran e Murugasan	Índia	<i>Road over Bridge</i>	5	2017
Alfakhri <i>et al.</i>	Líbia	<i>Road</i>	5	2017
Lozano Serna <i>et al.</i>	Colômbia	<i>Road</i>	10	2018
Cabahug <i>et al.</i>	Filipinas	<i>Road</i>	4	2018
Rudeli <i>et al.</i>	Equador	<i>Road</i>	7	2018
Thapanont, Santi e Pruethipong	Tailândia	<i>Highway</i>	5	2018
Pai <i>et al.</i>	Índia	<i>Highway and Road</i>	5	2018
Al Hadithi	Iraque	<i>Highway</i>	7	2018
Alfakhri, Ismail e Khoiry	Líbia	<i>Road</i>	7	2018
Karunakaran, Malek e Ramli	Malásia	<i>Highway and Road</i>	12	2019
Rachid, Toufik e Mohammed	Argélia	<i>Highway</i>	5	2019
Sohu e Chandio	Paquistão	<i>Highway</i>	10	2019
Kumar	Índia	<i>Highway and Expressway</i>	5	2020
Kassa	Etiópia	<i>Federal Road and Railway Construction</i>	10	2020
Al Hinai, Widyarto e Bhuiyan	Omã	<i>Road</i>	4	2020
Bounthipphasert <i>et al.</i>	Cisjordânia na Palestina	<i>Road</i>	5	2020
Melaku Belay <i>et al.</i>	Etiópia	<i>Road</i>	9	2020
Rivera, Baguec e Yeom	***	<i>Road</i>	10	2020
Mejía <i>et al.</i>	África e Ásia	<i>Road</i>	20	2020
Subedi e Joshi	Nepal	<i>Road</i>	13	2020

Fonte: autora.

Tabela 3 - Literatura utilizada para coleta de dados (Continuação).

Fonte/Autor	Local	Tipo de Projeto	Quantidade de fatores de atrasos identificados	Ano
Mohajeri Borje Ghaleh <i>et al.</i>	Irã	<i>Road</i>	6	2021
Stević <i>et al.</i>	República do Benim	<i>Road</i>	5	2022
Purushothaman e Kumar	Nova Zelândia	<i>Road</i>	8	2022
Danial e Misnan	Malásia	<i>Road site</i>	5	2022
Negesa	Etiópia	<i>Road</i>	10	2022

Nota: *** mais de 25 países em desenvolvimento

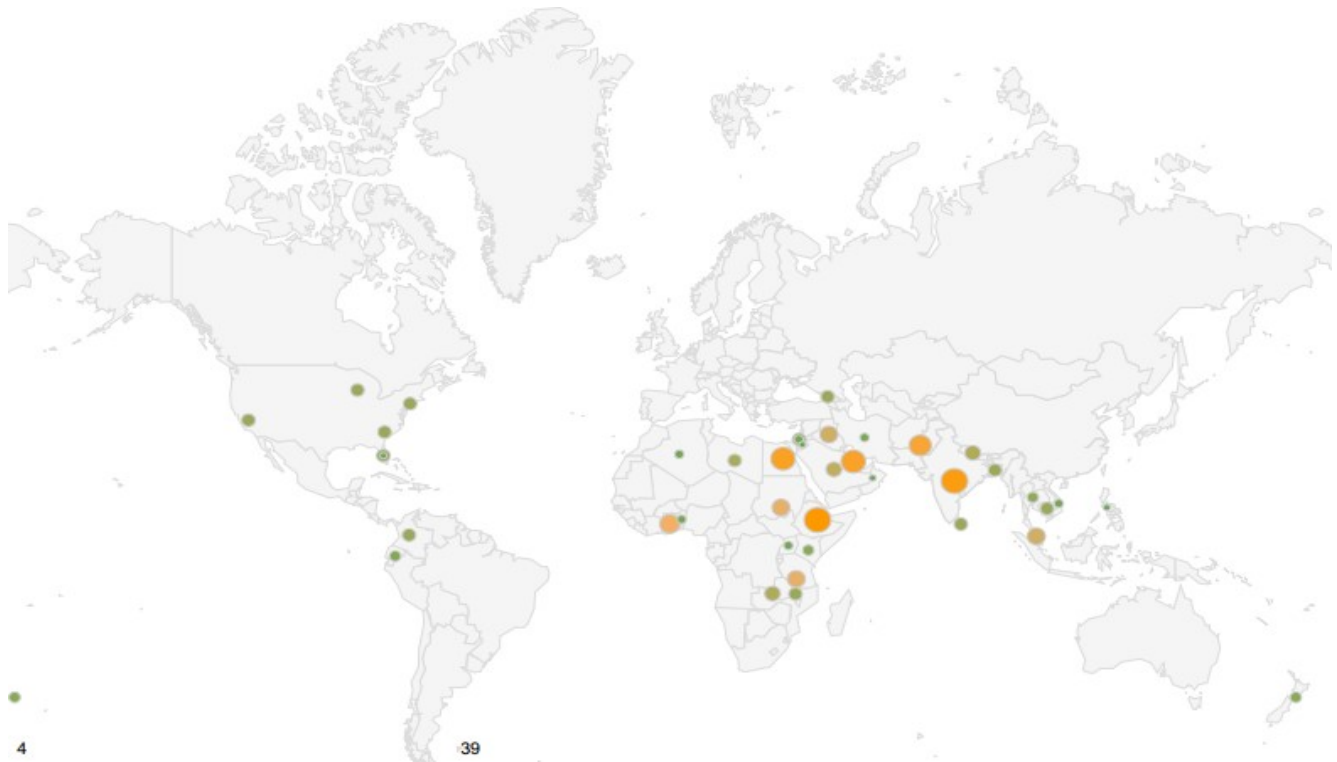
Fonte: autora.

Da análise dos artigos, na revisão da literatura, sobre estudos focados em causas de atraso na infraestrutura rodoviária e, realizada a extração das informações, foram selecionados os fatores que contribuem para esta ocorrência, resultando em 472 fatores que foram organizados de acordo com os diferentes estudos. (Ver APÊNDICE A)

As causas identificadas a partir do levantamento na literatura (APÊNDICE B) deixaram nítido que os atrasos são comumente encontrados nos projetos de infraestrutura de transporte no mundo.

Em diferentes estudos foram encontrados fatores das causas de atrasos de projetos de infraestrutura rodoviária. Estes foram apontados por diferentes pesquisadores de todos os continentes: como Ásia, Oceania, América do Sul, África, América do Norte e Europa (VIDALIS; NAJAFI, 2002; AFORLA; WOODE; AMOAH, 2016; CABAHUG *et al.*, 2018; RUDELI, *et al.*, 2018; PURUSHOTHAMAN; KUMAR, 2022; MEJÍA *et al.*, 2020). A Ásia foi o continente que mais apresentou pesquisas para o contexto de atrasos na construção de infraestrutura rodoviária, seguido do continente Africano. Reunido os países e as quantidades de fatores de atrasos, a Etiópia (39) (TESFA, 2016; KASSA, 2020; MELAKU BELAY *et al.*, 2020; NEGESA, 2022) foi o que mais apresentou fatores de atrasos registrados nas suas pesquisas, seguido da Índia (36) (PATIL *et al.*, 2013; VENKATESWARAN; MURUGASAN, 2017; PAI *et al.*, 2018; KUMAR, 2020; HONRAO; DESAI, 2015) e EGITO (33) (EZELDIN; ABDEL-GHANY, 2013; AZIZ e ABDEL-HAKAM, 2016) (Figura10).

Figura 10 - Quantidade de fatores de atrasos identificados por país.



Fonte: autora.

Entre os artigos que foram selecionados para extração das causas de atrasos, foram levantadas outras pesquisas que abordaram o método AHP. Dessa forma, para o desenvolvimento da presente pesquisa, os artigos selecionados (Tabela 4), que aplicaram este método foram:

Tabela 4- Estudo que aplicaram o método AHP para projetos rodoviários.

Fonte/Autor	Metodologia/Técnicas aplicadas	Resultados
Lin, Fan e Chen (2022)	Estabeleceram 5 dimensões e 19 fatores a partir da combinação AHP-RNA (rede neural artificial) e desenvolveram um modelo para prever os principais fatores de risco e qualidade de construção, analisando sua influência no gerenciamento de construção pública do governo central de Taiwan.	Os resultados podem ser usados como referência para desenvolver estratégias de tomada de decisão para a gestão.
Mohajeri Borje Ghaleh <i>et al.</i> (2021)	Utilizaram o diagrama Ishikawa, conhecido como causa-efeito, organizando os fatores de forma qualitativamente, para identificar e priorizar os riscos de atraso com o método AHP atribuindo pesos aos fatores dos atrasos nos projetos de construção de estradas.	Nesta pesquisa, foi apresentado o framework para identificar e priorizar os riscos de atraso para os projetos de construção de estradas com o método AHP mostrou que problemas financeiros e de crédito, financiamento de terras, problemas de gestão, problemas técnicos e desastres naturais têm o maior risco entre os principais critérios.
Tavassolirizi <i>et al.</i> (2020)	A partir da literatura existente identificou e avaliou as causas de atrasos para projetos de transporte ferroviário e priorizou esses fatores usando a abordagem de tomada de decisão multicritério (MCDA) baseado no AHP.	Das quatro categorias de fatores principais identificadas, o fator de gestão teve o maior peso e, fatores financeiros, de design e de implementação, ficaram do segundo ao quarto lugares, respectivamente. Os subfatores incluíram: existência de numerosas partes envolvidas, falta de supervisão centralizada, e má supervisão dos gerentes de projeto.
Razi, Ali e Ramli (2019)	A partir de uma revisão da literatura e consultas com especialistas em vias públicas, localizaram sete fatores de atraso e vinte e dois subfatores que em seguida, com base em um questionário designado por pares, distribuído para uma equipe do projeto rodoviário, localizaram os pesos e posteriormente a priorização dos fatores de atraso, de acordo com o método AHP.	Concluíram que os cinco principais fatores mais priorizados foram: técnico, risco natural, econômico e financeiro, contratual e sociopolítico. E os cinco principais subfatores mais priorizados foram determinados da seguinte forma: risco do financiamento, de inundações, chuvas fortes, condições do solo e problema de utilidade existente.

Fonte: autora.

Puderam ser vistos nos artigos selecionados, que os resultados do método AHP podem auxiliar os tomadores de decisão na seleção da melhor solução. Nesta pesquisa o método AHP foi usado como uma ferramenta para identificar, por meio da priorização, a partir das análises feitas pelos especialistas, quais são os fatores de atrasos, na realidade do Brasil, chegando aos critérios e subcritérios, ou seja, os fatores principais e os seus respectivos subfatores. Assim,

essas informações podem chegar a variáveis consistentes que influenciam os atrasos em um setor ou em uma região.

4.2 Seleção de fatores de atraso na infraestrutura rodoviária

Tomando como base a revisão da literatura e discussões com especialistas e acadêmicos, foram sintetizadas as informações, selecionando os critérios e definindo-se uma lista preliminar com os fatores. O primeiro nível contém cinco fatores principais: contratante principal, projetista, gestor, fator materiais, mão de obra e equipamentos e fatores externos (Figura 11), que de acordo com Le-Hoi, Lee e Lee (2008); Aziz e Abdel-Hakam (2015) e Mahamid, Bruland e Dmaidí (2017) representam os principais grupos em projetos de infraestrutura rodoviária.

Figura 11 - Critérios – fatores principais selecionados de acordo com a literatura.



Fonte: autora.

Esta lista de critérios foi projetada de acordo com os 472 fatores obtidos na literatura existente que tinham como objeto de pesquisa os atrasos na infraestrutura rodoviária. A partir das pesquisas selecionadas, foram agrupados e uniformizados os fatores similares e com o mesmo significado.

Neste processo, foram excluídos os fatores que se repetiram na lista, e assim, obteve-se 220 fatores de atrasos de infraestrutura rodoviária (APÊNDICE C - Tabela 15).

Entretanto, de acordo com o estudo em questão, muitos destes fatores não condizem com a realidade brasileira quando se tratam dos projetos rodoviários. Por isso, reforçando, estes fatores precisariam ser selecionados de acordo com os projetos locais.

A partir dos 220 fatores de atrasos, 35 foram selecionados inicialmente a partir de discussões com especialistas e acadêmicos, do qual o critério de seleção foi se condizem com a realidade dos projetos rodoviários brasileiros (Figura 12). (APÊNDICE D).

Figura 12 – Primeira estrutura dos dados para o questionário com critérios e subcritérios.

CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS DAS CAUSAS DE ATRASOS EM PROJETOS/OBRA DE INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA				
CONTRATADA	PROJETISTA	GESTOR	MATERIAIS/ EQUIPAMENTOS/ MÃO DE OBRA	FATORES EXTERNOS
TEMPO	EXPERIÊNCIA	OBRA	MATERIAL	CLIMA
CUSTO	ALTERAÇÕES	HABILIDADE	MÃO DE OBRA	POLÍTICA
COORDENAÇÃO	SUPERVISÃO	CARACTERÍSTIC	EQUIPAMENTO	ECONOMIA
AQUISIÇÃO	DESIGN	COMUN/COORD	PRODUTIVIDADE	SERV PÚBLICOS
SUPERVISÃO	MUD. DE EQUIP	INCONSISTÊNC	ESCASSEZ	AMBIENTE
QUALIFICAÇÃO	BIM	PLANEJAMENTO	DEFEITOS	
FLUX DE CAIXA	APROVAÇÃO	BIM 4D	ENTREGA	
MOBILIZAÇÃO				
LICENÇA				

Fonte: autora.

Ainda com esta lista dos 220 fatores (APÊNDICE C) foi obtida a Tabela 5 com os 10 principais fatores de atraso com base na frequência de ocorrência e seus respectivos grupos.

Tabela 5 - Ranking com base na frequência de ocorrência dos dez fatores de atrasos nos projetos e obras de infraestrutura rodoviária (Continua...).

nº	Fator	Grupo Principal	Fonte/Autor
1.	Atraso nos pagamentos ao empreiteiro pelo proprietário	Contratante	Nasir, Gabriel e Choudhry (2011) Bekr (2015) Honrao e Desai (2015) Tesfa (2016) Alfakhri, Ismail e Khoiry (2018) Al Hadithi (2018)
2.	Planejamento e programação /agendamento deficientes /ineficazes	Contratada	Rachid, Toufik e Mohammed (2019) Al Hinai, Widyarto e Bhuiyan (2020) Melaku Belay <i>et al.</i> (2021) Danial e Misnan (2022)
3.	Condições climáticas adversas	Fatores externos	Ellis e Thomas (2003) Nasir, Gabriel e Choudhry (2011) Hasan, Suliman e Malki (2014)
4.	Dificuldades financeiras do empreiteiro	Contratada	Le-Hoai, Lee e Lee (2008) Kaliba, Muya e Mumba (2009) Nasir, Gabriel e Choudhry (2011)
5.	Problemas no processo de aquisição do terreno	Contratante	Wijekoon e Attanayake (2012) Ekanayake e Perera (2016) Pai <i>et al.</i> (2018) Mohajeri Borje Ghaleh <i>et al.</i> (2021)
6.	Cronograma com tempo irrealista	Contratada	Alfakhri, Ismail e Khoiry (2018) Lozano Serna <i>et al.</i> (2018)

Fonte: autora.

Tabela 6 - Ranking com base na frequência de ocorrência dos dez fatores de atrasos nos projetos e obras de infraestrutura rodoviária (Continuação).

nº	Fator	Grupo Principal	Fonte/Autor
7.	Experiência inadequada do empreiteiro	Contratada	Sohu e Chandio (2019) Bekr (2015) Aziz, Abdel-Hakam (2015) Tesfa (2016)
8.	Falta de materiais de construção no local	Mat/equip/mão	Aforla, Woode e Amoah (2016) Lozano Serna <i>et al.</i> (2018) Karunakaran; Malek; Ramli (2019)
9.	Má gestão e supervisão do local	Contratada	Mejia <i>et al.</i> (2020) Le-Hoai, Lee e Lee (2008) Hasan, Suliman e Malki (2014)
10.	Projeto inadequado	Projetista	Vidalis e Najafi (2002) Chileshe e Berko (2010) Tesfa (2016)

Fonte: autora.

A Tabela 5 indicou os dez principais fatores, baseados na frequência, encontradas na literatura para este estudo. Estes fatores foram identificados seu grupo principal, de acordo com alguns pesquisadores como Le-Hoai, Lee e Lee (2008); Aziz e Abdel-Hakam (2015) e Mahamid, Bruland e Dmaid (2017) que classificam os atrasos em grupos principais similares.

Foi visto que, a maioria desses estudos utilizou em suas pesquisas questionários, usando abordagens de análise como Índice de Importância, Índice de Frequência e Índice de Gravidade. O grupo relacionado aos empreiteiros e o dos proprietários foram os que mais apontaram fatores envolvidos nas causas de atrasos, respectivamente.

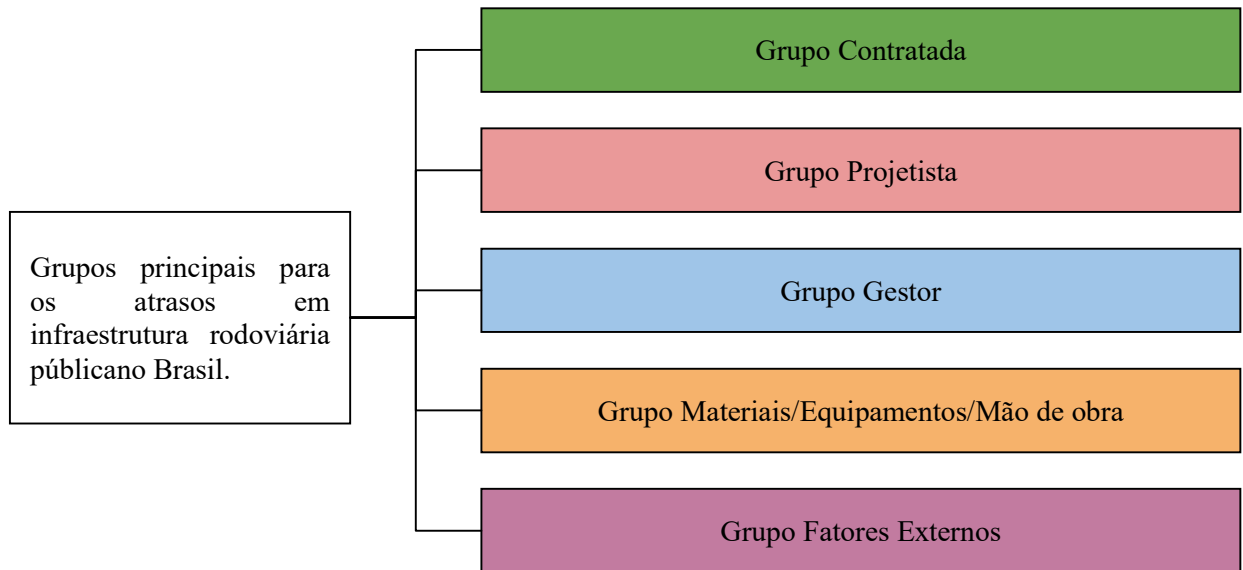
A saída destes resultados, por meio da frequência de acordo com a literatura, permitiu uma visão acerca dos fatores de atrasos na infraestrutura rodoviária.

4.2.1 Seleção dos critérios

Com base na avaliação do contexto local, para os projetos rodoviários públicos, estabeleceu-se uma lista de critérios. Os critérios foram separados em grupos principais, que foram selecionados e adaptados para os projetos de infraestrutura rodoviária no Brasil.

O contratante, o projetista, o gestor, os materiais, mão de obra e equipamentos, e fatores externos, foram vistos como os principais fatores em um projeto de infraestrutura rodoviária, que desempenham papéis centrais na fase de construção deste tipo de projeto no Brasil (Figura 13).

Figura 13 - Categorias dos principais fatores (critérios) de atrasos nos projetos e obras de infraestrutura rodoviária no Brasil.



Fonte: autora.

Considerando a importância e o mecanismo de controle da fase projeto e de construção para uma infraestrutura de transporte rodoviário, este estudo considerou o primeiro nível para a estruturação do modelo hierárquico com cinco fatores principais: contratada, projetista, gestor, materiais/mão de obra/equipamentos, e fatores externos.

A seguir será apresentada a lista completa dos fatores escolhidos para análise nesta pesquisa.

4.2.2 Seleção dos Subcritérios

Com a seleção dos fatores a partir da literatura e discussões com especialistas, e com base na primeira seleção de 35 subfatores (Figura 12), 24 subfatores ou subcritérios foram finalizados, havendo a necessidade, pois, de acordo com o método adotado para validar os atrasos existiam muitos fatores podendo gerar um falso resultados. Dessa maneira, estes foram relacionados para projetos de infraestrutura rodoviária pública no Brasil.

Destes 24, foram distribuídos: 5 subcritérios para o contratante principal, 5 para o projetista, 5 para o gestor, 4 para os materiais, mão de obra e equipamento, e 5 para os fatores externos, que foram associados a cada grupo principal. A Tabela 6 mostra o nome de cada fator, e subfator em dois níveis, conforme método AHP, com sua identidade abreviada.

Tabela 7- Principais fatores de atrasos, de acordo com os especialistas, nos projetos e obras de infraestrutura rodoviária pública no Brasil (Continua...).

Objetivo	Fatores Principais (Critérios) Nível 1	Subfator (Subcritérios) Nível 2	ID	Código
Critérios para seleção das variáveis das causas de atrasos em projetos/obra de infraestrutura rodoviária	Contratante (C)	Cronograma com tempo irrealista	Tempo	C1
		Estimativa de custo imprecisa do projeto	Custo	C2
		Falta de coordenação entre as partes envolvidas da construção / Inspeção e/ou supervisão deficiente do empreiteiro / Escassez e falta de qualificação da equipe técnica do empreiteiro / Atraso na mobilização do canteiro pelo empreiteiro	Coordenação	C3
		Problemas de fluxo de caixa do empreiteiro	Fluxo de Caixa	C4
		Licenças de operação e funcionamento	Licença	C5
	Projetista (P)	Experiência inadequada da equipe de projeto/design / Experiência inadequada do consultor/supervisão / Atraso na revisão e aprovação do projeto/design	Experiência	P1
		Alterações do projeto solicitadas pelos consultores/projetistas	Alterações	P2
		Alterações de design durante a construção	Design	P3
		Mudança de consultor/projetista durante a execução do projeto	Mudanças de equipe	P4

Fonte: autora.

Tabela 8- Principais fatores de atrasos, de acordo com os especialistas, nos projetos e obras de infraestrutura rodoviária pública no Brasil (Continuação).

Objetivo	Fatores Principais (Critérios) Nível 1	Subfator (Subcritérios) Nível 2	ID	Código
Critérios para seleção das variáveis das causas de atrasos em projetos/obra de infraestrutura rodoviária	Projetista (P)	Uso de tecnologias relacionadas ao BIM no desenho dos projetos	BIM	P5
	Gestor (G)	Obras adicionais/Obras extras/Retrabalho	Obra	G1
	Gestor (G)	Baixo conhecimento dos documentos do projeto pela equipe / Falta de base de dados e baixa experiência para planejar/gerenciar o projeto	Planejamento	G2
		Características físicas/tipo de projeto	Características	G3
		Comunicação e coordenação deficientes entre o projetista/designer	Comunicação/coordenação	G4
		Disparidade de especificações (não conformidade)	Inconsistência	G5
	Materiais/ Mão de Obra/ Equipamentos (MME)	Falta de materiais de construção no local / Entrega atrasada/lenta de materiais	Material	MME1
		Escassez de mão de obra qualificada e não qualificada / Baixo nível de produtividade do trabalho da mão de obra	Mão de obra	MME2
		Falta de equipamento	Equipamento	MME3
		Avárias frequentes de equipamentos	Defeitos	MME4
	Fatores Externos (FE)	Condições climáticas adversas	Clima	F1
		Situação política	Política	F2
		Instabilidade econômica (moeda, inflação, etc..)	Economia	F3

Fonte: autora.

Tabela 9- Principais fatores de atrasos, de acordo com os especialistas, nos projetos e obras de infraestrutura rodoviária pública no Brasil (Continuação).

Objetivo	Fatores Principais (Critérios) Nível 1	Subfator (Subcritérios) Nível 2	ID	Código
	Fatores Externos (FE)	Atraso nas respostas das agências de serviços públicos	Serviços Públicos	F4
		Questões Relacionadas ao Meio Ambiente e Recursos Naturais	Ambiente	F5

Fonte: autora.

4.3 Análises multicritério – AHP

O questionário foi aplicado a 3 especialistas. O *SuperDecisions* foi utilizado nesta pesquisa, para auxiliar na estruturação do problema, realizar a comparação binária entre os critérios e subcritérios de um mesmo grupo (ou clusters) com o intuito de ter as prioridades obtidas matematicamente.

Os resultados da etapa anterior deram origem a uma lista de critérios e subcritérios a hierarquizar para a aplicação do modelo.

4.3.1 Especialistas

O perfil dos especialistas para esta pesquisa foram profissionais envolvidos no setor público, meio acadêmico e execução de obras de infraestrutura rodoviária brasileira. Estes especialistas têm experiência em projetos de infraestrutura rodoviária que envolve licitações públicas somados de 23 anos, o que demonstra que a discussão reflete a cenários reais de projetos.

Cada especialista ao responder o questionário, a partir da comparação par a par, e foram obtidos os pesos para todos os critérios e subcritérios, com auxílio do *SuperDecisions* (APÊNDICE E).

A ordem de importância dos critérios e subcritérios com base na avaliação dos *experts* (especialistas) são apresentadas na Tabela 7, conforme os critérios e subcritérios apresentados anteriormente na Tabela 6.

Tabela 10- Ordem de importância dos critérios de acordo com cada especialista.

Especialista	Ordem de importância dos critérios	Ordem de importância dos subcritérios
E1	G>FE>C>P>MME	MME2>FE2>P1>G2>C2>C1>P2>G1>MME4>FE4>G5>C3>P4>FE3>C4>G4>C5>G3>P3>MME1=MME3>FE5>P5
E2	C>MME>P>FE>G	G3>C2>MME1>MME4>G4>FE1>C1>P2>FE4>P3>FE3>P1>P5>MME2>FE2>C5>P4>C3>G5>FE5>MME3>C4>G2>G1>
E3	FE>C>G>MME>P	MME2>G2>C5>P5>FE5>P4>FE4>MME3>FE2>C2>C1>C4>P1>G5>P2>P3>FE3>G1=G3=G4>MME1>FE1>C3>MME4

Fonte: autora.

Nota-se que a ordem de importância para cada um dos três especialistas (individual) quanto os critérios diferem, mas para os subcritérios os especialistas 1 e 3 apontaram que a Mão de obra (MME2), que pertence ao critério Materiais/ Mão de Obra/ Equipamentos (MME), é um dos fatores mais importantes na causa dos atrasos na infraestrutura rodoviária brasileira.

Na análise da prioridade final, entre os resultados dos especialistas (grupo), a ordem de importância dos critérios e subcritérios, com base na avaliação dos especialistas são apresentadas na Tabela 8:

Tabela 11- Ordem de importância da prioridade final dos critérios e subcritérios de acordo com os três especialistas.

Especialista	Ordem de importância dos critérios	Ordem de importância dos subcritérios
E1, E2, E3	FE>C>G>MME>P	MME2>G2>FE2>C2>P1>C5>P5>C1>FE4>FE5>G3>MME4>P2>P4>MME1>G4>MME3>FE3>FE1>G1>P3>G5>C3>C4

Fonte: autora.

O critério Fatores Externos (FE) foi o mais importante entre os especialistas. Entre os subcritérios que envolvem este grupo, está às dificuldades com as condições climáticas adversas, situação política, instabilidade econômica (moeda, inflação, etc.), atraso nas respostas das agências de serviços públicos, questões relacionadas ao meio ambiente e recursos naturais.

Para o subcritério na escolha entre os três, a mão de obra (MME2) foi apontada como o fator mais importante no problema de atrasos na infraestrutura rodoviária pública brasileira. Sendo assim a escassez de mão de obra qualificada e não qualificada, baixo nível de produtividade do trabalho da mão de obra, podem ser reduzidas com a adequada qualificação destes profissionais que participam desse setor.

Foi possível também efetuar a comparação par a par entre os critérios. Conforme este método, abaixo segue um exemplo na Figura 14, em que na primeira linha a comparação par a par entre o Contratante e o Projetista tem a mesma importância, dentro do contexto dos atrasos na infraestrutura rodoviária. Na segunda linha entre o Contratante e o Gestor, a importância do Contratante é muito grande em relação ao Gestor, ou seja, na comparação par a par ele é sete vezes mais importante, para ocorrência do atraso em obras de infraestrutura rodoviárias públicas brasileiras.

Figura 14 - Exemplo da comparação pareada ou par a par do formulário enviado.

Contratante	9	7	5	3	X	3	5	7	9	Projetista
Contratante	9	X	5	3	1	3	5	7	9	Gestor

Fonte: autora.

Sendo assim, o coeficiente de consistência (CR) para cada especialista, os valores próprios mais elevados (λ_{max}) encontrados e os índices de consistência dos julgamentos (CI) são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Coeficientes de coerência das matrizes de critérios.

Dimension	E1			E2			E3					
		CR	λ_{max}	CI		CR	λ_{max}	CI		CR	λ_{max}	CI
Contratante	0.0927	0.058	5.25	0.06	0.029	0.058	5.43	0.05	0.029	0.056	5.28	0.06
Projetista	0.012				0.015				0.012			
Gestor	0.001				0.000				0.000			
Materiais/ Mão de Obra/ Equipament os	0.009				0.008				0.008			
Fatores Externos	0.047				0.048				0.051			

Fonte: autora.

4.3.2 Análise depois do ajuste dos subcritérios por causa da inconsistência dos dados

Com todos os critérios organizados hierarquicamente, o processo de obtenção dos *vectores* da avaliação da prioridade e da coerência foi realizado para os critérios e subcritérios através do método AHP.

Na matriz de comparação dos 5 grupos, houve inconsistências, apresentando alguns de seus valores acima de 0,1. Nesse caso, o questionário deve ser revisado, uma vez que, como sugere Saaty (1980) a taxa de inconsistência maior do que 0,1 não são consideradas aceitáveis. Uma das possíveis causas para esse resultado pode ter sido a grande quantidade de subcritérios, o que poderia estar confundindo os especialistas. A solução adotada foi à diminuição das variáveis.

Para isso, uma nova seleção de subcritérios foi realizada, por meio de discussões com especialistas e acadêmicos, que delinearão como importantes para a realidade dos projetos de infraestrutura rodoviária financiados pelo governo no Brasil, ficando distribuídos da seguinte maneira: 3 para o contratante principal, 3 para o projetista, 3 para o gestor, 3 para os materiais, mão de obra e equipamento, e 3 para os fatores externos, conforme são apresentados na Tabela10.

Tabela 13 - Revisão dos Fatores de atrasos e grupo relacionado aos projetos e obras de infraestrutura rodoviária (Continua...).

Objetivo	Fatores Principais (Critérios) Nível 1	Subfator (Subcritérios) Nível 2	ID	Código
Critérios para seleção das variáveis das causas de atrasos em projetos/obra de infraestrutura rodoviária	Contratante (C)	Cronograma com tempo irrealista	Tempo	C1
		Estimativa de custo imprecisa do projeto	Custo	C2
		Falta de coordenação entre as partes envolvidas da construção / Inspeção e/ou supervisão deficiente do empreiteiro / Escassez e falta de qualificação da equipe técnica do empreiteiro / Atraso na mobilização do canteiro pelo empreiteiro	Coordenação	C3
	Projetista (P)	Experiência inadequada da equipe de projeto/design / Experiência inadequada do consultor/supervisão / Atraso na revisão e aprovação do projeto/design	Experiência	P1
		Alterações de design durante a construção	Design	P3
		Uso de tecnologias relacionadas ao BIM no desenho dos projetos	BIM	P5
	Gestor (G)	Obras adicionais/Obras extras/Retrabalho	Obra	G1
		Baixo conhecimento dos documentos do projeto pela equipe / Falta de base de dados e baixa experiência para planejar/gerenciar o projeto	Planejamento	G2
		Características físicas/tipo de projeto	Características	G3
	Materiais/ Mão de Obra/ Equipamentos (MME)	Falta de materiais de construção no local / Entrega atrasada/lenta de materiais	Material	MME1

Fonte: autora.

Tabela 14 - Revisão dos Fatores de atrasos e grupo relacionado aos projetos e obras de infraestrutura rodoviária (Continuação).

	Materiais/ Mão de Obra/ Equipamentos (MME)	Escassez de mão de obra qualificada e não qualificada / Baixo nível de produtividade do trabalho da mão de obra	Mão de obra	MME2
		Falta de equipamento	Equipamento	MME3
	Fatores Externos (FE)	Condições climáticas adversas	Clima	F1
		Situação política	Política	F2
		Instabilidade econômica (moeda, inflação, etc..)	Economia	F3

Fonte: autora.

Nova avaliação foi realizada no *Superdecisions*. Uma vez que o valor CR é inferior a 0,10 para todos os especialistas, os valores estimados dos subcritérios também são confirmados como consistentes. Ao realizar outra seleção dos fatores, novos pesos foram atribuídos aos critérios e subcritérios. Assim, baseados nesta avaliação dos especialistas foram encontrados novos valores de pesos que implicam na importância do item avaliado.

Para unificar as ponderações dos critérios e subcritérios obtidos, procedeu-se a uma agregação homogênea, ou seja, todos os especialistas foram considerados igualmente importantes na decisão. A média aritmética foi utilizada como medida de agregação. Os pesos dos critérios e subcritérios obtidos a partir da agregação homogênea são apresentados na Tabela 11:

Tabela 15 - Pesos dos critérios obtidos a partir da agregação.

Grupo	E1/E2/E3	Subcritério	E1/E2/E3
Contratante	0,41638	C1	0,29686
		C2	0,6175
		C3	0,08563
Projetista	0,04723	P1	0,33252
		P3	0,13965
		P5	0,52784
Gestor	0,15950	G1	0,13501
		G2	0,58416
		G3	0,28083
Materiais/ Mão de Obra/ Equipamentos	0,16778	MME1	0,73064
		MME2	0,18839
		MME3	0,08096
Fatores Externos	0,20911	FE1	0,74705
		FE2	0,11939
		FE3	0,13356

Fonte: autora.

Para esta nova análise da prioridade final, entre os resultados dos especialistas, a ordem de importância dos critérios e subcritérios, são apresentadas na Tabela 12. A nova ordem de importância, de acordo com os especialistas, foi: Contratante>Fatores Externos, Materiais>Mão de obra e Equipamentos>Gestor>Projetista. Os índices de acordo com a ordem foram: 0,41638, 0,20911, 0,16778, 0,15950 e 0,04723, respectivamente.

Uma nova ordem de importância dos critérios e subcritérios baseados na avaliação dos especialistas foram encontradas, e é apresentada na Tabela 12, conforme os critérios e subcritérios apresentados anteriormente na Tabela 10.

Tabela 16 - Nova ordem de importância da prioridade final dos critérios e subcritérios de acordo com os três especialistas.

Especialista	Ordem de importância dos critérios	Ordem de importância dos subcritérios
E1, E2, E3	C>FE>MME>G>P	FE1>MME1>C2>G2>P3>P1>C1>G3>MME2>P2>G1>FE3>FE2>C3>MME3

Fonte: autora.

Para os resultados, o critério que mais é responsável pelo problema dos atrasos é relacionado ao Contratante. Para o subcritério, o clima, em suas condições climáticas adversas, é um dos fatores mais importantes na causa dos atrasos na infraestrutura rodoviária brasileira.

3.2.3 Discussões acerca da importância dos subcritérios em seus grupos

A partir da ordem de importância da prioridade final, conforme Tabela 12 e os respectivos pesos na Tabela 11, foram realizadas discussões acerca desses resultados.

Nos fatores relacionados ao Contratante, a classificação obtida respectivamente foi: Custo>Tempo>Coordenação. Este resultado revela que o fator de atraso Custo, com estimativa de custo imprecisa do projeto foi o que possui maior importância. Este resultado está de acordo com Honrao e Desai (2015) e com Tesfa (2016), que foram citados no contexto Índia/Bahrein e Etiópia.

Um ponto que se pode destacar é que o atraso impacta diretamente no custo (KARUNAKARAN; MALEK; RAMLI, 2019). No estudo de Odeck (2004) usando dados de projetos de construção de estradas norueguesas ao longo dos anos 1992-1995, descobriu-se a discrepância entre o custo estimado e o real com um custo médio de 7,9% variando de 5,9% a 183%.

Kassa (2020) estimou que aproximadamente 80% dos projetos de construção de estradas ultrapassam os custos estimados de custo de conclusão. O atraso causará impactos negativos tanto para o contratante quanto para os contratados (THAPANONT; SANTI; PRUETHIPONG, 2018), podendo ser neste cenário o gestor ou o projetista. Contudo, as estimativas imprecisas podem indicar uma má gestão com comunicação e coordenação deficientes entre o projetista/designer.

Nos fatores relacionados aos Fatores Externos, a classificação obtida respectivamente foi: Clima>Economia>Política. O clima, com as condições climáticas adversas, foi o mais importante neste grupo. Isso porque as atividades em projetos rodoviários estão mais expostas ao clima, com a temperatura e chuvas de inundação, entre outras. Este resultado está de acordo com a pesquisa realizada por Siddiqui e Faheem (2021).

Nos fatores relacionados aos Materiais, Mão de obra e Equipamentos, a classificação obtida respectivamente foi: Material>Mão de Obra>Equipamento. O material foi o fator mais importante. A falta de materiais de construção no local, a entrega atrasada e lenta de materiais, foi visto em estudos que investigaram as causas do atraso em projetos de construção de estradas (PURUSHOTHAMAN; KUMAR, 2022), o que afirma que estes fatores também influenciam nos atrasos da infraestrutura rodoviária.

Nas recomendações pelos autores Mejía *et al.* (2020), acerca das questões de materiais, apontaram como medida, empreender uma estratégia eficaz de gestão da cadeia de suprimentos, realizar a integração precoce da cadeia de suprimentos no ciclo de vida do projeto, definir adequadamente os fornecedores e os materiais necessários, e planejar de forma adequada a aquisição, transporte, armazenamento e acesso a materiais de construção (ERIKSSON, 2015; KHAIR *et al.*, 2017; OYEGOKE; AL KIYUMI, 2017).

Os fatores relacionados ao Gestor, a classificação obtida respectivamente foi: Planejamento>Características>Obra. O planejamento foi o mais importante. Pode-se então dizer que o baixo conhecimento dos documentos do projeto pela equipe, a falta de base de dados e baixa experiência para planejar e gerenciar o projeto são os fatores que mais causam atrasos entre os gestores e profissionais. Um ponto que pode ser destacado é a baixa qualificação dos profissionais, no qual a forma que pode ser reduzido este problema, é a adequada qualificação dos gestores pode proporcionar melhoria e reduzir deficiências no planejamento.

Em relação aos fatores relacionados ao Projetista, a classificação obtida respectivamente foi: BIM>Experiência>Design. O BIM foi o que possui maior importância. O uso de tecnologias relacionadas ao BIM na elaboração dos projetos pode auxiliar nos problemas de planejamento do projeto, problemas de design e nas características do projeto (COSTIN *et al.*, 2018). Como medida redutora, pode-se destacar o uso das tecnologias da Modelagem de Informação da Construção para a verificação de interferências entre as linhas de utilidades subterrâneas (SÁNCHEZ-RIVERA *et al.*, 2017; COSTIN *et al.*, 2018), e apoiar as atividades de planejamento.

Desta forma, no método AHP é possível ver uma série de fatores (critérios ou subcritérios) que influenciam para o atraso nos projetos rodoviários. Comparações pareadas são realizadas

entre os fatores para determinar o peso e a prioridade de tomada de decisão de cada problema. Os resultados do AHP podem, no entanto, auxiliar os gerentes na seleção de uma melhor solução.

O AHP pode ser usado para processar dados incertos ou subjetivos para desenvolver uma estrutura hierárquica baseada em relacionamentos lógicos. Essa estrutura permite que os gerentes entendam as relações entre cada fator relevante, o que permite a análise de critérios adicionais e o cálculo de pesos dos fatores.

4.4 Questionário

O questionário foi enviado aos três especialistas em projetos/obras de infraestrutura rodoviária foram através do Google *Forms* (Figura 14), seguindo a hierarquia do método AHP. (APÊNDICE F)

Figura 15 - Google Forms do questionário aplicado.

Sendo a explicação da escala verbal:

1 - Importância igual

3 - Importância pequena;

5 - Importância grande;

7 - Importância muito grande;

9 - Importância extrema.

C1	Contratante	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Projetista	C2
C1	Contratante	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Gestor	C3
C1	Contratante	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Mat/Equip/Mao	C4
C1	Contratante	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Fatores externos	C5
C2	Projetista	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Gestor	C3
C2	Projetista	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Mat/Equip/Mao	C4
C2	Projetista	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Fatores externos	C5
C3	Gestor	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Mat/Equip/Mao	C4
C3	Gestor	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Fatores externos	C5
C4	Mat/Equip/Mao	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Fatores externos	C5

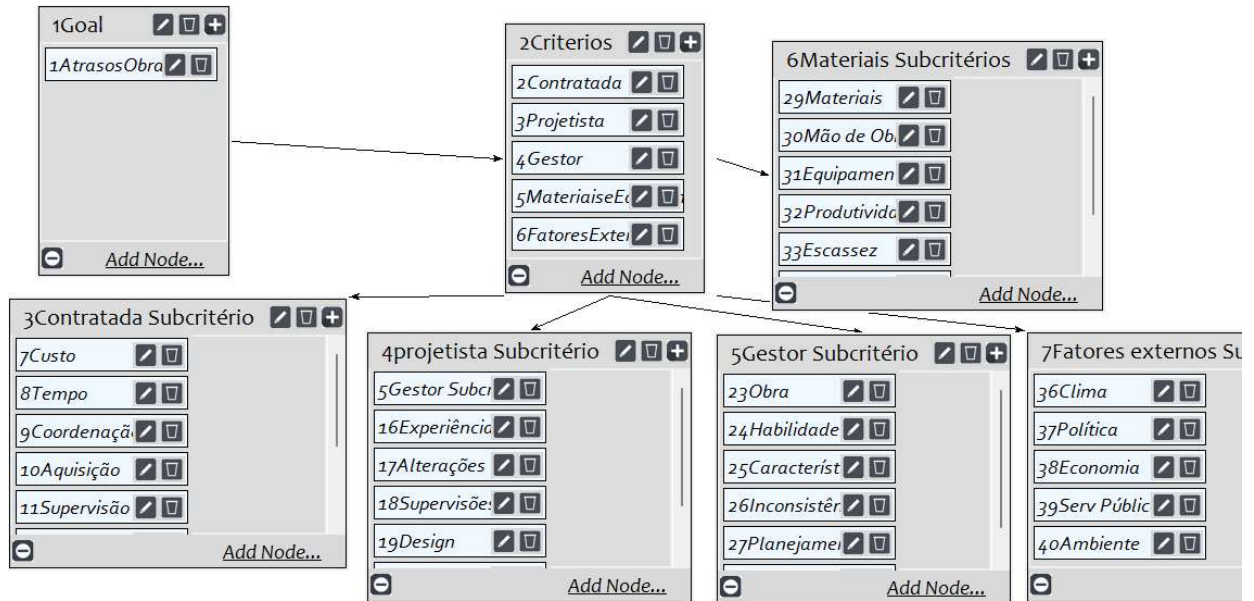
Dependendo de sua opinião, faça a comparação par a par de acordo com os Critérios abaixo: *

	9	7	5	3	1	3	5	7	9
C1 X C2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Fonte: autora.

Ainda para este questionário, o software *SuperDecision* foi utilizado para uma organização (Figura 15), ou seja, para auxiliar na estruturação do problema, realizar a comparação binária entre os critérios e subcritérios de um mesmo grupo (ou clusters) com o intuito de termos em mãos as prioridades obtidas matematicamente.

Figura 16- Estruturação hierárquica dos fatores das causas de atraso na infraestrutura rodoviária no software *SuperDecisions*.



Fonte: autora.

Vemos o quanto foi válido o apoio do software adotado para realização dos cálculos, bem como calcular a pontuação final das alternativas.

A taxa de resposta para a pesquisa por questionário foi de 100%, sendo satisfatório que como exposto por Razi, Ali e Ramli (2019), que no caso de análises AHP, não existem regras pré-estabelecidas para determinar o tamanho aceitável da amostra de especialistas (SAATY; OZDEMIR, 2014).

5 CONCLUSÕES

Nesta pesquisa, foram apresentadas as causas de atrasos com base em uma revisão da literatura internacional, para identificar e priorizar os atrasos nos projetos de construção de estradas no Brasil, com o apoio do método AHP. Através desse levantamento por meio de pesquisas realizadas em outros países foi possível indicamos quais as suas causas existentes e sua frequência. Em seguida, verificamos as causas reais da infraestrutura rodoviária brasileira.

A descoberta dos fatores precisou passar por uma priorização e relevância, ou seja, ao coletamos informações de outros países com localizações geográficas, características diferentes, entre outras implicações, nos revela que seus fatores podem ser diferentes para os projetos rodoviários de seus respectivos países. Isso nos remete a imaginamos que o Brasil não sofre influencias climáticas que acontecem em outros países.

A utilização do método AHP, como uma ferramenta para identificar e priorizar quais são os fatores de atrasos, trazendo uma hierarquização destes, pode tornar este processo mais eficiente, racional e claro, em obras e projetos de infraestrutura rodoviária pública no Brasil.

A hierarquização das causas de atrasos auxilia na tomada de decisão, com base matemática, reduzindo os erros associados, com melhorias no processo. Existem várias causas ou fatores de atrasos que foram identificados por pesquisadores da área de gerenciamento de projetos no setor de construção de rodovias. Porém estas se caracterizam em contextos locais de outros países, e neste trabalho se abordou a perspectiva de especialistas brasileiros.

O resultado desta pesquisa demonstra que na percepção dos especialistas brasileiros, o grupo principal (critério) Contratante é o mais importante no problema de atrasos em obras e projetos de infraestrutura rodoviária pública brasileira. Seguido dos Fatores Externos, Materiais, Mão de obra e Equipamentos, Gestor e Projetista. Verifica-se a necessidade de investimentos em qualificar os gestores e os profissionais que envolvem a construção, melhorarem os processos, metodologia e técnicas de controle e planejamento de obras.

Assim, esta identificação dos fatores e causas dos atrasos permite aos tomadores de decisão ver seus efeitos e também ações de mitigação, além disso, se esses atrasos são impactantes e prejudiciais na entrega a sociedade.

A estrutura dessa pesquisa discutiu os atrasos do ponto de vista da gestão do sistema de infraestrutura rodoviária pública brasileira e, o método AHP serviu como uma ferramenta para estudar e diminuir a taxa de inconsistências resultantes, dadas nas respostas pelos especialistas.

Com tantos fatores atribuídos às causas dos atrasos nos projetos de infraestrutura, há a necessidade de determinar as mais prevalentes do atraso na conclusão do projeto. Os fatores na infraestrutura rodoviária são responsáveis pelo sucesso ou fracasso neste tipo de projeto.

Medidas mitigatórias com ações que incluem a não aceitação nos processos licitatórios de projetos incompletos, que geram impactos errôneos na estimativa das quantidades, refletindo no planejamento, podem ser estabelecidas para diminuir a influência dos fatores sobre os atrasos. Outra recomendação é o investimento na qualificação dos gestores e profissionais envolvidos, com melhores sistemas, uso de tecnologias, metodologias e técnicas para a diminuição do cumprimento do prazo das obras públicas.

No ponto de vista para a sociedade, o atraso na implementação de projeto rodoviário é um dos problemas que mais frustram o processo de desenvolvimento, e têm uma implicação de custo imensurável para a sociedade. As consequências desses incluem derrapagens de custos, perda de lucros, aumento de despesas gerais, desconfortos, conflitos entre as partes, litígios e perda de oportunidades, pois os recursos estarão atrelados a projetos atrasados. Pode-se acrescentar também à perda de reputação das partes envolvidas na execução dos projetos.

Visando responder esta problemática, esta pesquisa buscou encontrar as causas reais da paralisação/atraso dos projetos/obras na infraestrutura rodoviária na literatura existente. No entanto, os resultados mostraram a ausência de pesquisas relacionadas a este tema no Brasil. Assim a revisão da literatura revelou que muito poucos estudos foram realizados no setor de construção de estradas.

Considerando a problemática dos atrasos nas obras públicas de infraestrutura rodoviária e, tomando como base os resultados deste estudo, podem-se chegar às variáveis que poderão ser utilizadas para elaborar um modelo de previsão contribuindo para mitigar os riscos de atrasos em projetos e obras de infraestrutura rodoviária para obras públicas.

Como oportunidade para sugestões de pesquisas futuras sugere-se uso de tecnologias emergentes, para resolução destes fatores, aplicando o aprendizado de máquinas, com a realização de modelos de predição. O uso de o BIM para ajudar a minimizar erros em vários estágios de desenvolvimento e substituir os processos manuais “baseados papel” por fluxos de trabalho digitalizados do início ao fim, com informações de modelos tridimensionais inteligentes.

Os resultados desta pesquisa podem ser considerados uma referência aos implementadores de projetos rodoviários, tanto o governo quanto o empreiteiro, quanto às ações de precaução a serem tomadas para evitar atrasos na implementação do projeto rodoviário.

Recomendações para objetivos de pesquisas futuras

1. Identificar as variáveis com base nas principais causas de atrasos, que influenciam na gestão dos projetos e obras de infraestrutura rodoviária brasileiras;
2. Analisar como as variáveis influenciam nos projetos e obras no contexto da infraestrutura rodoviária para obras públicas brasileiras;
3. Identificar usos do aprendizado de máquinas para utilização de modelos de predição por meio de seus modelos, técnicas e algoritmos para prever atrasos futuros nos projetos de infraestrutura rodoviária;
4. Analisar usos do BIM para mitigação dos atrasos na infraestrutura rodoviária, sendo útil para minimizar erros em vários estágios de desenvolvimento, facilitar a gestão com comunicação e compartilhamento do conhecimento, desde estudos de viabilidade passando pelo projeto, construção, entrega e operação;
5. Identificar usos do *Big Data* e aprendizado de máquina para desenvolver construções com projetos mais confiáveis a partir de informações/dados passados.

REFERÊNCIAS

Acidentes de Trânsito no Brasil., Brasília, DF, 2018.

AFORLA, B.; WOODE, A.; AMOAH, D. Causes of delays in highway construction projects in Ghana. *Civil and Environmental Research*, 8 (11), 69-76, 2016.

AL HADITHI, B. I. An investigation into factors causing delays in highway construction projects in Iraq. In: *MATEC Web of Conferences*. EDP Sciences, 2018. p. 02035. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201816202035>.

AL HINAI, S.; BHUIYAN, A.; WIDYARTO, S. The empirical review of critical success factors on the causes of delay in road constructions projects in the gcc countries. *Australian Finance & Banking Review*, v. 4, n. 2, p. 15-36, 2020. DOI: <https://doi.org/10.46281/afbr.v4i2.920>.

AL-HAZIM, N.; SALEM, Z. Delay and cost overrun in road construction projects in Jordan. *International Journal of Engineering & Technology*, v. 4, n. 2, p. 288, 2015. DOI: doi: 10.14419/ijet.v4i2.4409.

ALAMGIR, M. *et al.* Economic, socio-political and environmental risks of road development in the tropics. *Current Biology*, 27(20), R1130-R1140, 2017.

ALINAITWE, H.; APOLOT, R.; TINDIWENSI, D. Investigation into the causes of delays and cost overruns in Uganda's public sector construction projects. *Journal of Construction in Developing Countries*, v. 18, n. 2, p. 33, 2013.

ALSUWEHRI, Y. Supplier Evaluation and Selection by Using The Analytic Hierarchy Process Approach, *Engineering Management Field Project*, Master's of Science, University of Kansas, 2011.

AMOATEY, C. T.; ANKRAH, A.N. O. Exploring critical road project delay factors in Ghana. *Journal of Facilities Management*, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1108/JFM-09-2016-0036>.

ASADABADI, M. R.; CHANG, E.; SABERI, M. Are MCDM methods useful? A critical review of analytic hierarchy process (AHP) and analytic network process (ANP). *Cogent Engineering*, v. 6, n. 1, p. 1623153, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/23311916.2019.1623153>

AZIZ, R. F.; ABDEL-HAKAM, A. A. Exploring delay causes of road construction projects in Egypt. *Alexandria Engineering Journal*, v. 55, n. 2, p. 1515-1539, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.03.006>.

BAGAYA, O.; SONG, J. Empirical study of factors influencing schedule delays of public construction projects in Burkina Faso. *Journal of Management in Engineering*, v. 32, n. 5, p. 05016014-1-05016014-10, 2016. DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000443](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000443).

BEKR, G. Causes of delay in public construction projects in Iraq. *Jordan Journal of Civil Engineering*, v. 9, n. 2, 2015.

BELTRÃO, L.; CARVALHO, M. Prioritizing construction risks using fuzzy AHP in Brazilian public enterprises. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 145, n. 2, p. 05018018, 2019. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001606](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001606).

BERZINS, L. Avaliação de desempenho pela AHP através do Super Decisions: caso Inmetro. Dissertação de Mestrado Profissionalizante. Rio de Janeiro: Faculdades Ibmecc, 2009.

BORÇA JR, G.; QUARESMA, P. Perspectivas de investimento na infraestrutura 2010-2013. Rio de Janeiro: BNDES, 2010.

BOUNTHIPPHASERT, S. *et al.* Causes of delays in road construction projects in Laos. *Global Journal of Researches in Engineering: ECivil And Structural Engineering*, v. 20, n.3, 2020.

BRANDÃO, R. Avaliação do uso do BIM para o estudo de obras de infraestrutura viária. 2014 Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil - Curso em Engenharia Civil - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Bahia, 2014.

CABAHUG, R. *et al.* Factors Influencing the Delay of Road Construction Projects in Northern Mindanao, Philippines. *Mindanao Journal of Science and Technology*, v. 16, n. 1, 2018.

CAVANA, R.; DELAHAYE, B.; SEKERAN, U. Applied business research: Qualitative and quantitative methods. John Wiley & Sons, 2001.

CHILESHE, N.; BERKO, P. D. Causes of project cost overruns within. In: Proceedings 51st Built Environment Conference, p. 20, 2010.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS MUNICÍPIOS (CNM). Mapeamento das Mortes por Acidentes de Trânsito no Brasil., Brasília, DF, 2018.

CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. Pesquisa CNT de Rodovias 2021. Disponível em: <https://pesquisarodovias.cnt.org.br/downloads/ultimaversao/Pesquisa_CNT_Rodovias_2021_Web.pdf> Acesso em 25 de setembro de 2022.

COSTIN, A. *et al.* Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure—Literature review, applications, challenges, and recommendations. *Automation in Construction*, 94, 257-281, 2018.

CREATIVE DECISIONS FOUNDATION. Super Decisions Software For Decision Making. Disponível em: <www.superdecisions.com>. Acesso em 27 de agosto de 2022.

CRISTOFOLINI, V. Geração de alternativas para o aprimoramento de docentes e discentes do campus III da Universidade do Vale do Itajaí: uma aplicação do MCDA. 1998. (Mestre em Engenharia de Produção) – Florianópolis, Santa Catarina, 1998.

DANIAL, N.; MISNAN, M. S. Possession of Site: Another Layer of Complexity in Road Construction. *Sustainability*, v. 14, n. 11, p. 6809, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14116809>.

DECISION LENS INC. Better Decisions for Better Performance. Disponível em: <www.decisionlens.com>. Acesso em 15 de janeiro de 2023.

DNIT. Relatório de Gestão do Exercício de 2021. Brasília, Distrito Federal, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/aceso-a-informacao/auditorias-antiga/relatorio-de-gestao/copy_of_RelatriodeGesto2021.pdf> Acesso em 28 de agosto de 2022.

ELAWI, G.; ALGAHTANY, M.; KASHIWAGI, D. Owners' perspective of factors contributing to project delay: case studies of road and bridge projects in Saudi Arabia. *Procedia Engineering*, v. 145, p. 1402-1409, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.176>.

ELLIS, R. D.; THOMAS, H. R. The root causes of delays in highway construction. In: Presentation at the 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board. 2003. p. 1-16.

ERIKSSON, P. E.; LARSSON, J.; PESÄMAA, O. Managing complex projects in the infrastructure sector—A structural equation model for flexibility-focused project management. *International journal of project management*, v. 35, n. 8, p. 1512-1523, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.08.015>.

EXPERTCHOICE. Set Priorities and Move your Organization Forward. Disponível em: <www.expertchoice.com>. Acesso em 8 de janeiro de 2023.

EZELDIN, A.; ABDEL-GHANY, M. Causes of construction delays for engineering projects: An Egyptian perspective. In: AEI 2013: Building solutions for architectural engineering. 2013. p. 54-63. DOI: <https://doi.org/10.1061/9780784412909.006>.

FILIPPI, G.A.; MELHADO, S. B. Um estudo sobre as causas de atrasos de obras de empreendimentos imobiliários na região Metropolitana de São Paulo. *Ambiente Construído*, v. 15, p. 161-173, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212015000300033>.

FERNANDEZ, M. Comparação de custo e prazo entre duas formas de contratação de obras públicas de pavimentação de rodovias no Brasil. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes e Gestão) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina. 2022.

FREITAS, L.; CARVALHO, M. Levantamento de aumento do custo e do prazo de obras públicas de 2008 a 2015. *Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção*, v. 1, 2017.

GIL, A. Como elaborar projetos de pesquisa. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GONÇALVES, R.; PINHEIRO, P.; FREITAS, MA. Métodos multicritérios como auxílio à tomada de decisão na bacia hidrográfica do rio Curu—Estado do Ceará. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Curitiba, Brasil, 2003.

GONDIM, C. Apresentação do estudo “o novo ciclo de investimentos na indústria de construção civil e infraestrutura – agenda para o futuro” (IFC, BID E BNDES). *In: LEVY, J. et al. SEMINÁRIO ‘NOVO CICLO DE INVESTIMENTOS EM INFRAESTRUTURA E A TRANSPARÊNCIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL’*. Rio de Janeiro: CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO – CBIC, 2019. p.10-21.

GOODWIN, P.; WRIGHT, G. *Decision analysis for management judgment*. John Wiley & Sons, 2014.

HASAN, R.; SULIMAN, S. M.; MALKI, Y. Al. An investigation into the delays in road projects in Bahrain. *International Journal of Research in Engineering and Science*, v. 2, n. 2, p. 38-47, 2014.

HONRAO, Y.; DESAI, D. Study of delay in execution of infrastructure projects-highway construction. *International Journal of Scientific and Research Publications*, v. 5, n. 6, p. 1-8, 2015.

HOSSEN, M.; KANG, S.; KIM, J. (2015). Construction schedule delay risk assessment by using combined ahp-rii methodology for an international npp project. *nuclear engineering and technology*, 47 (3), 362-379. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.net.2014.12.019>.

HOTA, H.; SINGHAI, S.; SHUKLA, R. Application of fuzzy analytic hierarchy method in software engineering scenario. *International Journal of Computer Applications*, v. 57, n. 21, 2012.

ISLAM, Mohammad Saiful et al. Causes of delay in construction projects in Bangladesh. *In: The 6th International Conference on Construction Engineering and Project Management*, Busan, Korea. 2015. p. 82-86.

KALIBA, C.; MUYA, M.; MUMBA, K. Cost escalation and schedule delays in road construction projects in Zambia. *International journal of project management*, v. 27, n. 5, p. 522-531, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2008.07.003>.

KAMANGA, M. J.; V D M STEYN, W. J. Causes of delay in road construction projects in Malawi. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering= Joernaal van die Suid-Afrikaanse Instituut van Siviele Ingenieurswese*, v. 55, n. 3, p. 79-85, 2013.

KANG, H.; LEE, A.; LIN, Chun-Yu. A multiple-criteria supplier evaluation model. *In: 2010 International Symposium on Computer, Communication, Control and Automation (3CA)*. IEEE, 2010. p. 107-109.

KARUNAKARAN, S.; MALEK, M. A.; RAMLI, M. Z. Causes of delay in construction of highway projects: a review. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, v. 10, n. 2, pp. 2374-2386, 2019.

KASSA, Y. Determinants of infrastructure project delays and cost escalations: the cases of federal road and railway construction projects in Ethiopia. *American Academic Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences*, v. 63, n. 1, p. 102-136, 2020.

KHADEMI, N.*et al.* An algorithm for the analytic network process (ANP) structure design. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, v. 19, n. 1-2, p. 33-55, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1002/mcda.485>.

KHAIR, Khalid et al. A management framework to reduce delays in road construction projects in Sudan. *Arabian journal for science and engineering*, v. 43, n. 4, p. 1925-1940, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13369-017-2806-6>.

KIMURA, H.; SUEN, A. Ferramentas de análise gerencial baseadas em modelos de decisão multicriteriais. *RAE eletrônica*, v. 2, n. 1, p. 0-0, 2003.

KRUEGER, R. A. Grupos focais: um guia prático para pesquisa aplicada. Publicações Sage, 2014.

KUMAR, V. Delay in Construction of Highway and Expressway Projects. *Int. Res. J. Eng. Technol*, v. 7, p. 2136-2142, 2020.

KUMAR, Y.; KAUR, K.; SINGH, G. Machine learning aspects and its applications towards different research areas. In: 2020 International conference on computation, automation and knowledge management (ICCAKM). IEEE, 2020. p. 150-156. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCAKM46823.2020.9051502>.

LE-HOAI, L.; LEE, Y.; LEE, J.Y. Delay and cost overruns in Vietnam large construction projects: A comparison with other selected countries. *KSCE journal of civil engineering*, v. 12, n. 6, p. 367-377, 2008. DOI: 10.1007/s12205-008-0367-7.

LIN, C.; FAN, C.; CHEN, B. Hybrid Analytic Hierarchy Process–Artificial Neural Network Model for Predicting the Major Risks and Quality of Taiwanese Construction Projects. *Applied Sciences*, v. 12, n. 15, p. 7790, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12157790>.

LOZANO SERNA, S.*et al.* Identificación de factores que generan diferencias de tiempo y costos en proyectos de construcción en Colombia. *Ingeniería y ciencia*, v. 14, n. 27, p. 117-151, 2018. DOI: <https://doi.org/10.17230/ingciencia.14.27.6>.

MACEDO, M. *etal.* Selection of Potential Sites for Sustainable Development of Solar Photovoltaic Plants in Northeastern Brazil Using GIS and Multi-Criteria Analysis. *J. Mgmt. & Sustainability*, 11, 147, 2021.

MACEDO, M.*et al.* Remote Sensing Applied to the Extraction of road geometric features based on OPF classifiers, Northeastern Brazil. *Journal of Geographic Information System*, 12, 15-44, 2020.

MAHAMID, I. Schedule delay in Saudi Arabia road construction projects: size, estimate, determinants and effects. *International Journal of Architecture, Engineering and Construction*, v. 6, n. 3, p. 51-58, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.7492/IJAEC.2017.017>.

MAHAMID, I.; BRULAND, A.; DMAIDI, N. Causes of delay in road construction projects. *Journal of management in engineering*, v. 28, n. 3, p. 300-310, 2012. DOI: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000096.

- MAUÉS, L. *et al.* Construction delays: a case study in the Brazilian Amazon. *Ambiente construído*, v. 17, p. 167-181, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212017000300169>.
- MEJÍA, Guillermo *et al.* Delay causes in road infrastructure projects in developing countries. *Revista de la Construcción*, v. 19, n. 2, p. 220-234, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.7764/rdlc.19.2.220>
- MELAKU BELAY, S. *et al.* Analysis of cost overrun and schedule delays of infrastructure projects in low income economies: case studies in Ethiopia. *Advances in Civil Engineering*, v. 2021, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/4991204>.
- MELO FILHO, R. R. Análise do estágio atual da adoção de práticas sustentáveis em processos licitatórios de projetos de infraestrutura de transportes rodoviários no Brasil. *Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – UPE, Escola Politécnica*, 2020.
- MOHAJERI BORJE GHALEH, R. *et al.* Delays in the road construction projects from risk management perspective. *Infrastructures*, v. 6, n. 9, p. 135, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/infrastructures6090135>.
- MPOFU, B. *et al.* Profiling causative factors leading to construction project delays in the United Arab Emirates. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2020-0358>.
- MUIANGA, E. A. D.; GRANJA, A. D.; RUIZ, J.A. Desvios de custos e prazos em empreendimentos da construção civil: categorização e fatores de influência. *Ambiente construído*, v. 15, p. 79-97, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-86212015000100008>.
- NASIR, Abdur Rehman; GABRIEL, Hamza Farooq; CHOUDHRY, Rafiq Muhammad. Cost and time overruns in highway projects of Pakistan. In: *Sixth International Conference on Construction in the 21st Century, Kuala Lumpur, Malaysia*. 2011. p. 69-76.
- NEGESA, A. B. Assessing the Causes of Time Overrun in Building and Road Construction Projects: The Case of Addis Ababa City, Ethiopia. *Journal of Engineering*, v 2022, 2022. DOI: <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4044604>.
- NOULMANEE, A. *et al.* Internal causes of delays in highway construction projects in Thailand. *International Journal of Project Management*, v. 17, p. 149-159, 1999.
- ODECK, J. (2004). Cost overruns in road construction—what are their sizes and determinants?. *Transport policy*, 11, 43-53. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0967-070X\(03\)00017-9](https://doi.org/10.1016/S0967-070X(03)00017-9).
- ONDARI, P.; GEKARA, J. Factors influencing successful completion of roads projects in Kenya. *International Journal of Social Sciences and Entrepreneurship*, v. 1, n. 6, p. 26-48, 2013.
- OYEGOKE, A.; AL KIYUMI, N. (2017). The causes, impacts and mitigations of delay in megaprojects in the Sultanate of Oman. *Journal of Financial Management of Property and Construction*, 22, 286-302. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/JFMPC-11-2016-0052>.

- PAI, S. *et al.* Identification of risks causing time and cost overrun in roads and highway projects in India. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, v. 9, n. 3, p. 683-697, 2018.
- PARK, J. Schedule delays of major projects: what should we do about it?. *Transport Reviews*, v. 41, n. 6, p. 814-832, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/01441647.2021.1915897>.
- PATIL, S. K. *et al.* Causes of delay in Indian transportation infrastructure projects. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, v. 2, n. 11, p. 71-80, 2013.
- PEREIRA, E. S. S. Fatores associados ao atraso na entrega de edifícios residenciais. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.
- PHUANGPORNPIITAK, N.; TIA, S.. Opportunities and challenges of integrating renewable energy in smart grid system. *Energy Procedia*, 34, 282-290, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.06.756>.
- PITTA, D. A engenharia e análise do valor como ferramenta de otimização de investimento em infraestrutura rodoviária no Brasil. 2021. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2021.
- PURUSHOTHAMAN, M. B.; KUMAR, S. Environment, resources, and surroundings based dynamic project schedule model for the road construction industry in New Zealand. *Smart and Sustainable Built Environment*, v. 11, n. 2, pp. 294-312. DOI: <https://doi.org/10.1108/SASBE-08-2021-0145>
- RABBANI, S.; RABBANI, S. Decisions in transportation with the analytic hierarchy process. UFPB/CCT, 1996.
- RACHID, Z.; TOUFIK, B.; MOHAMMED, B. Causes of schedule delays in construction projects in Argélia. *International Journal of Construction Management*, v. 19, n. 5, p. 371-381, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/15623599.2018.1435234>.
- RAZI, P. Z.; ALI, M. I.; RAMLI, N. I. AHP-based analysis of the risk assessment delay case study of public road construction project: an empirical study. *Journal of Engineering Science and Technology*, v. 14, n. 2, p. 875-891, 2019.
- REIS, C. *et al.* Identificação das causas de atrasos de obras: um estudo de caso na região metropolitana de Belém. ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, v. 16, São Paulo. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2016.
- RIVERA, L.; BAGUEC JR, H.; YEOM, C. A study on causes of delay in road construction projects across 25 developing countries. *Infrastructures*, v. 5, n. 10, p. 84, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/infrastructures5100084>
- ROCHA, I.; RIBEIRO, R. Infraestrutura no Brasil: contexto histórico e principais desafios. In: SILVA, M. Concessões e parcerias público-privadas: políticas públicas para provisão de infraestrutura. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2022. p.23-44. DOI: <http://dx.doi.org/10.38116/978-65-5635-040-0/capitulo1/> <http://dx.doi.org/10.38116/978-65-5635-040-0>.

RUDELI, Natalia et al. Causas de Retrasos en Proyectos de Construcción: Un análisis cualitativo. Universidad de Montevideo. Memoria Investigaciones en Ingeniería. 2018.
 SAATY, T. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority, Setting and Resource Allocation, McGraw-Hill, Inc., 1980.

SAATY, T. L. Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary. European journal of operational research, v. 145, n. 1, p. 85-91, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00227-8](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00227-8).

SAATY, T. L. Fundamentals of the analytic network process—Dependence and feedback in decision-making with a single network. Journal of Systems science and Systems engineering, v. 13, n. 2, p. 129-157, 2004.

SAATY, T.L.; VARGAS, L. G. The possibility of group choice: pairwise comparisons and merging functions. Social Choice and Welfare, v. 38, n. 3, p. 481-496, 2012. DOI: 10.1007/s00355-011-0541-6.

SÁNCHEZ-LOZANO, J. M.; GARCÍA-CASCALES, M. S.; LAMATA, M. T. GIS-based onshore wind farm site selection using Fuzzy Multi-Criteria Decision Making methods. Evaluating the case of Southeastern Spain. Applied Energy, 171, 86-102, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.03.03>.

SÁNCHEZ, R. *et al.* Inversiones en infraestructura en América Latina: tendencias, brechas y oportunidades. 2017.

SÁNCHEZ-RIVERA, O. *et al.* BIM 5D models and Lean Construction for planning work activities in reinforced concrete bridges. Revista Facultad de Ingeniería, 26, 39-50, 2017. DOI: <https://doi.org/http://doi.org/10.19053/01211129.v26.n46.2017.7314>.

SANNI-ANIBIRE, M. O.; MOHAMAD ZIN, R.; OLATUNJI, S. O. Developing a preliminary cost estimation model for tall buildings based on machine learning. International Journal of Management Science and Engineering Management, v. 16, n. 2, p. 134-142, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/17509653.2021.1905568>.

SANTOSO, D.; SOENG, S. Analyzing delays of road construction projects in Cambodia: Causes and effects. Journal of Management in Engineering, v. 32, n. 6, p. 05016020, 2016. DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000467](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000467).

SENOUCI, A.; ISMAIL, A.; ELDIN, N. Time delay and cost overrun in Qatari public construction projects. Procedia engineering, 164, 368-375, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.632>.

SIDDIQUI, M; FAHEEM, M. A Review on Schedule Delays in Infrastructure Projects. International journal of innovative research in technology, 7, 237-243, 2021.

SOHU, S.; CHANDIO, A. Identification of causes and minimization of delays in highway projects of Pakistan. Mehran University Research Journal of Engineering & Technology, v. 38, n. 1, p. 103-112, 2019.

- STEVIĆ, Ž.*et al.* Assessment of Causes of Delays in the Road Construction Projects in the Benin Republic Using Fuzzy PIPRECIA Method. *Mathematical Problems in Engineering*, v. 2022, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/5323543>.
- SUBEDI, D.; JOSHI, B. Identification of causes of delay in road projects: Cases in Gandaki Province, Nepal. *Saudi J. Eng. Technol*, v. 5, p. 231-243, 2020. DOI: 10.36348/sjet.2020.v05i05.004.
- TAVASSOLIRIZI, Mohsen et al. Factors affecting delays in rail transportation projects using Analytic Network Process: The case of Iran. *International Journal of Construction Management*, p. 1-12, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1819946>.
- TESFA, S. Y. Analysis of factors contributing to time overruns on road construction projects under Addis Ababa City Administration. *International Journal of Science and Research*, v. 5, n. 7, p. 2181-2187, 2016.
- THAPANONT, P.; SANTI, C.; PRUETHIPONG, X. Causes of delay on highway construction projects in Thailand. In: *MATEC Web of Conferences*. EDP Sciences, 2018. p. 02014. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819202014>.
- THOMÉ, A.M.; SCAVARDA, L. F.; SCAVARDA, A. J. Conducting systematic literature review in operations management. *Production Planning & Control*, v. 27, n. 5, p. 408-420, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/09537287.2015.1129464>.
- TORRISI, G.*et al.* Public infrastructure: definition, classification and measurement issues. *Economics, Management, and Financial Markets*, v. 4, n. 3, p. 100-124, 2009.
- VENKATESWARAN, C.; MURUGASAN, R. Time delay and cost overrun of road over bridge (ROB) construction projects in India. *Journal of Construction in Developing Countries*, v. 22, p. 79-96, 2017. DOI: <https://doi.org/10.21315/jcdc2017.22.suppl1.5>.
- VIDALIS, S. NAJAFI, F. Cost and time overruns in highway construction. In: *Canadian Society for Civil Engineering-30th Annual Conference: 2002 Challenges Ahead*. 2002. p. 2799-2808.
- WILLIAMS, T. Assessing extension of time delays on major projects. *International Journal of Project Management*, v. 21, n. 1, p. 19-26, 2003.
- WIJEKOON, S.; ATTANAYAKE, A. Study on the cost overruns in road construction projects in Sri Lanka. *ICSBE-2012: International Conference on Sustainable Built Environment*, 2012.
- YAP, Jeffrey Boon Hui et al. Revisiting critical delay factors for construction: Analysing projects in Malaysia. *Alexandria Engineering Journal*, v. 60, n. 1, p. 1717-1729, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.11.021>.
- ZIDANE, Y. J.T.; ANDERSEN, B. The top 10 universal delay factors in construction projects. *International Journal of Managing Projects in Business*, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJMPB-05-2017-0052>.

APÊNDICE A

A seguir estão descritos na Tabela 13 os estudos que foram alcançados e utilizados para o desenvolvimento do presente artigo:

Tabela 17 - Causas de atrasos identificados como responsáveis por excesso no tempo e custo (Continua).

Fonte/Autor	Local	Ano	Tipo de Projeto	Causas de atrasos
Noulmanee <i>et al.</i>	Tailândia	1999	<i>Highway</i>	1. Inadequação De Subempreiteiros 2. Organização e falta de recursos suficientes 3. Desenhos Incompletos e pouco claros 4. Deficiências entre consultores e empreiteiros
Vidalis e Najafi	Florida	2002	<i>Highway</i>	1. Modificações de planos 2. Condições alteradas causadas por perfuração detectável ruim 3. Falta de coordenação do projeto 4. Problemas relacionados ao projeto
Ellis e Thomas	Califórnia, Flórida, Geórgia, Nova York, Carolina do Sul e Wisconsin.	2003	<i>Highway</i>	1. Atraso nas deslocções de utilidades 2. Erros nos Planos ou Especificações 3. Diferentes condições do local (Conflitos de utilidades) 4. Clima 5. Mudanças Solicitadas pelo Proprietário 6. Diferentes Condições do Local (exceto serviços públicos) 7. Problemas de permissão 8. Atrasos no planejamento do ambiente 9. Atrasos no projeto 10. Itens de pagamento não correspondem ao escopo do trabalho
Le-Hoai, Lee e Lee	Vietnã	2008	<i>Road****+</i>	1. Má Gestão E Supervisão Do Local, 2. Má Assistência À Gestão Do Projeto, 3. Dificuldades Financeiras Do Proprietário, 4. Dificuldades Financeiras Do Empreiteiro; 5. Mudanças De Projeto
Kaliba, Muya e	Zâmbia	2009	<i>Road</i>	1. Pagamentos atrasados

Mumba				<ol style="list-style-type: none"> 2. Deficiências financeiras por parte do cliente ou do empreiteiro, 3. Modificações de contrato 4. Problemas econômicos 5. Problemas de aquisição de materiais 6. Alterações nos desenhos de projeto 7. Problemas de pessoal 8. Indisponibilidade de equipamentos 9. Supervisão deficiente, 10. Erros de construção 11. Má coordenação no local 12. Mudanças nas especificações 13. Disputas trabalhistas e greves
Chileshe e Berko	Gana	2010	<i>Road</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Atrasos no pagamento mensal aos empreiteiros 2. Variações 3. Inflação 4. Atraso no cronograma 5. Subestimação 6. Falta de conhecimento do projeto 7. Erros/ omissões de projeto
Nasir, Gabriel e Choudhry	Paquistão	2011	<i>Highway</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Trabalho adicional 2. Políticas governamentais inapropriadas 3. Falta de prioridades 4. Planejamento inadequado 5. Escalada de preços da construção materiais e/ou ajustamento de preços 6. Aquisição e reassentamento de terras 7. Fluxos de caixa incoerentes 8. Atraso na decisão por parte do cliente 10. Erros e alterações de concepção 11. Estimativa incorreta 12. Deslocalização de serviços e utilitários 13. Atraso nos pagamentos em curso 14. Clima extremo, lei e ordem (força maior) 15. Incapacidade do empreiteiro para fazer o trabalho 16. Dificuldades financeiras enfrentadas pelos clientes 17. Planejamento e programação

				<p>ineficazes</p> <p>18. Mudanças de âmbito e trabalho adicional</p> <p>19. Atraso na entrega do local ao empreiteiro</p> <p>20. Atraso na obtenção de licenças</p>
Mahamid, Bruland e Dmaid	Palestina	2012	<i>Highway and Road</i>	<p>1. Situação política</p> <p>2. Segmentação da Cisjordânia e movimento limitado entre áreas,</p> <p>3. Conceder projeto ao menor preço de oferta</p> <p>4. Atraso no pagamento do progresso pelo proprietário</p> <p>5. Falta de equipamentos e materiais</p>
Wijekoon e Attanayake	Sri Lanka	2012	<i>Road</i>	<p>1. Atrasos de pagamento</p> <p>2. Atraso na mudança de utilidades existentes</p> <p>3. Escalada de custos</p> <p>4. Alterações de design durante a construção</p> <p>5. Questões na aquisição de terrenos</p>
Kamanga e Steyn	Malawai	2013	<i>Road</i>	<p>1. Falta de combustível</p> <p>2. Fluxo de caixa insuficiente do contratado</p> <p>3. Escassez de moeda estrangeira para importação de materiais e equipamentos</p> <p>4. Procedimentos de pagamento lentos adotados pelo cliente para efetuar pagamentos adiantados</p> <p>5. Equipamentos insuficientes</p> <p>6. Atraso na realocação de utilidades</p> <p>7. Escassez de materiais de construção</p> <p>8. Atraso no pagamento de indenizações aos proprietários de terrenos</p> <p>9. Escassez de pessoal técnico</p> <p>10. Atraso na mobilização do local</p>
Ezeldin e Abdel-Ghany	Egito	2013	<i>Road*** projetos de engenharia</i>	<p>1. Baixa velocidade de tomada de decisão por parte do cliente</p> <p>2. Falta de coordenação e supervisão da construção</p> <p>3. Produtividade</p> <p>4. Problemas econômicos</p> <p>5. Falta de recursos (mão-de-obra - equipamento - material)</p> <p>6. Falta de coordenação entre o contratante e a equipe de design</p> <p>7. Atraso na prestação de</p>

				<p>serviços de utilidade públicas permanentes</p> <p>8. Mudança no local/condição do solo</p> <p>10. Autorizações de trabalho</p> <p>11. Deficiências no planejamento e agendamento</p> <p>12. Atraso de pagamento</p> <p>13. Baixa velocidade de tomada de decisão por Empreiteiro</p>
Alinaitwe, Apolot e Tindiwensi	Uganda	2013	GERAL ** OBRAS PÚBLICAS	<p>1. Mudanças no escopo de trabalho</p> <p>2. Atrasos nos pagamentos</p> <p>3. Falta de monitoramento e controle</p> <p>4. Alto custo de capital</p> <p>5. Insegurança e instabilidade política</p>
Patil <i>et al.</i>	Índia	2013	Road	<p>1. Aquisição de Terra</p> <p>2. Questões/Impacto Ambiental do projeto,</p> <p>3. Encerramento financeiro</p> <p>4. Pedidos de alteração pelo cliente</p> <p>5. Gerenciamento deficiente do local</p> <p>6. Supervisão do contratado</p>
Ondari e Gekara	Quênia	2013	Road	<p>1. Capacidade de supervisão</p> <p>2. Dificuldades financeiras</p> <p>3. Mudanças de projeto</p>
Hasan, Suliman e Malki	Bahrein	2014	Road	<p>1. Escassez de mão de obra</p> <p>2. Planejamento e cronograma inadequados do projeto</p> <p>3. Má comunicação entre a contratada e outras partes do projeto</p> <p>4. Inexperiência e escassez de mão de obra</p> <p>5. Má gestão e supervisão do local</p> <p>6. Escassez de materiais e equipamentos</p> <p>7. Dificuldades no financiamento do projeto</p> <p>8. Suspensão do trabalho pelo proprietário</p> <p>9. Alteração do escopo do projeto</p> <p>10. Atraso na tomada de decisão</p> <p>11. Disponibilidade de orçamento para o projeto</p> <p>12. Pouca experiência da equipe do consultor/projetista</p> <p>13. Resposta longa das agências de serviços públicos</p>

				<ul style="list-style-type: none"> 14. Dificuldades na obtenção de autorizações de trabalho 15. Restrição de verão no tempo de trabalho 16. Desvio de tráfego 17. Efeito do clima quente nas atividades de construção
Atibu	Quênia	2015	Road	<ul style="list-style-type: none"> 1. Pagamento por cliente 2. Lentidão na tomada de decisões 3. Burocracia na organização do cliente 4. Planejamento e programação inadequados 5. Chuva
Islam <i>et al.</i>	Bangladesh	2015	Road -GERAL	<ul style="list-style-type: none"> 1. Falta de gerente de construção experiente 2. Seleção do menor licitante 3. Falta de financiamento pelo proprietário 4. Falta de gerenciamento adequado 5. Planejamento e programação inadequados 6. Falta de trabalhadores qualificados 7. Restrições do local 8. Problemas de fluxo de caixa dos empreiteiros durante a construção 9. Escalada do preço dos recursos 10. Carga de trabalho excessiva dos empreiteiros
Bekr	Iraque	2015	GERAL ** OBRAS PÚBLICAS	<ul style="list-style-type: none"> 1. Medidas de segurança 2. Mudanças governamentais de regulamentos e burocracia 3. Feriados oficiais e não oficiais 4. Baixo desempenho das empreiteiras de menor oferta no sistema de licitação do governo 5. Projeto e alterações por parte do proprietário 6. Alterações de projeto por consultores 7. Atraso nos pagamentos de andamento pelo proprietário 8. Problemas com a comunidade local 9. Falta de experiência do proprietário em construção 10. Condições econômicas locais e globais

Al-Hazim e Salem	Jordania	2015	<i>Road</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Condições do terreno 2. Condições climáticas 3. Variação de ordem 4. Disponibilidade de mão de obra
Honrao e Desai	Índia/Bahrein	2015	<i>Highway</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Interferência no trabalho pelo proprietário 2. Atraso na tomada de decisão 3. Atraso nos pagamentos em andamento pelo proprietário 4. Método construtivo ineficaz implementado pela empreiteira 5. Escassez de materiais 6. Problemas de pagamento entre contratado e seus funcionários 7. Atraso na resolução de problemas de projeto 8. Grande mudança de projeto durante a construção pelo consultor 10. Estimativa de custo de projeto ruim 11. Dificuldades na obtenção de autorizações de trabalho 12. Exigência do sistema de licitação para selecionar o licitante mais baixo 13. Aquisição de terras 14. Desvio de tráfego 15. Efeito do clima quente nas atividades de construção 16. Escassez de materiais no mercado
Santoso e Soeng	Cambodja	2016	<i>Road</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Trabalhar durante a estação chuvosa 2. Inundações 3. Impacto na terra das pessoas 4. Adjudicar o projeto ao licitante mais baixo 5. Quebras frequentes de equipamentos 6. Má disposição, gestão e supervisão do local 7. Más condições do solo e terreno 8. Baixa qualificação do corpo técnico da contratada e das equipes de projeto 9. Pagamento de progresso atrasado 10. Mão de obra de baixa produtividade
Aziz e Abdel-Hakam	Egito	2016	<i>Road</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Problemas financeiros do proprietário e do

				<p>cliente/capacidade econômica para o projeto</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. Escassez de equipamentos/números insuficientes 3. Experiência inadequada do contratado (trabalho) causando erro 4. Escassez (disponibilidade) em materiais de construção 5. Falha do equipamento (avaria) 6. Erros de projeto cometidos por projetistas 7. Erros na sondagem do solo 8. Por desempenho/atrasos do subcontratado 9. Retrabalho devido a mudança de design ou ordem de desvio 10. Gerenciamento e supervisão do local por parte do contratado 11. Design errado ou impróprio (ruim) (inadequado) 12. Documento de sondagem de solo com impróprio 13. Falta de operadores qualificados para equipamentos especializados 14. Desapropriação lenta de terras devido à resistência dos ocupantes 15. Conflito, guerra, revolução, podridão e inimigo público 16. Retrabalhos devido a defeitos nos materiais de construção 17. Alterações de projeto pelo proprietário ou seu agente durante a construção 18. Obstruções físicas 19. Atraso na entrega do projeto pelo consultor 20. Condição subterrânea inesperada
Elawi, Algahtany e Kashiwagi	Arabia Saúdita	2016	<i>Road e Bridg</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aquisição de terras 2. Serviços de linha (serviços públicos e serviços subterrâneos) 3. Re-designing 4. Variação nas quantidades estimadas 5. Falta de especialização dos empreiteiros 6. Atraso deliberado na construção pela GC

				<ul style="list-style-type: none"> 7. Mudança de consultor durante a execução do projecto 8. Diferenças de opinião do Ministério do Trânsito 9. Confrontos com outros Ministérios 10. Falha de comunicação entre várias partes interessadas
Tesfa	Etiópia	2016	<i>AsphaltRoad</i>	<ul style="list-style-type: none"> 1. Atraso Nos Pagamentos Progressivos Por Proprietário 2. Inflação 3. Atraso No Início 4. Problemas Financeiros Dos Contratantes 5. Condições De Citação Imprevistas 6. Experiência Inadequada Dos Empreiteiros 7. Estimativa Imprecisa Dos Custos 10. Movimento Lento Do Equipamento 11. Projetos Incompletos 12. Qualidade Do Material
Aforla, Woode e Amoah	Gana	2016	<i>Highway</i>	<ul style="list-style-type: none"> 1. Atraso na entrega de certificados de pagamento 2. Falha ou avaria do equipamento 3. Falta de materiais no local ou no mercado 4. Má gestão do sítio 5. Entrega tardia de materiais no local 6. Métodos de construção impróprios 7. Projetos incompletos 8. Condições das fundações encontradas no local 10. Subestimação dos custos dos projectos 11. Má supervisão
Ekanayake e Perera	Sri Lanka	2016	<i>Highway</i>	<ul style="list-style-type: none"> 1. Atrasos de pagamento 2. Atraso na mudança de utilidades existentes 3. Escalada de custos 4. Alterações de design durante a construção 5. Questões na aquisição de terrenos
Khalid <i>et al.</i>	Sudão	2017	<i>Road</i>	<ul style="list-style-type: none"> 1. Problemas de fluxo de caixa (pagamentos irregulares/ não ocorrência de pagamentos atempados) 2. Atrasos no pagamento ao empreiteiro

				<ul style="list-style-type: none"> 3. Dificuldades no financiamento de projetos 4. Financiamento e pagamentos inadequados de clientes para trabalhos concluídos 5. Efeito da inflação na compra de materiais 6. Gestão de locais por empreiteiro 7. Planejamento, programação, controle, qualidade e acompanhamento ineficazes 8. Sem estudos de produtividade durante a fase de implementação 9. Cronograma com tempo irrealista 10. Falta de mão-de-obra qualificada 11. Interferência desnecessária na obra do empreiteiro 12. Consultor/Projetista sem cooperação 13. Utilização de equipamento e ferramentas inadequadas 14. Disparidade de especificações (não-conformidade) 15. Sanções por danos impostas aos empreiteiros 16. Falta de comunicação entre os envolvidos 17. Interferência entre as diferentes tarefas dos subcontratantes 18. Clima adverso no local 19. Problemas de armazenamento 20. Excesso de mão-de-obra (mais do que necessário)
Mahamid a	Arábia Saudita	2017	Road	<ul style="list-style-type: none"> 1. Planejamento inadequado 2. Baixa produtividade da mão de obra 3. Obras adicionais 4. Retrabalho 5. Falta de experiência do contratado/empreiteiro
Mahamid b	Cisjordânia na Palestina	2017	Road	<ul style="list-style-type: none"> 1. Situação política 2. Atrasos nos pagamentos do proprietário 3. Falta de coordenação entre as partes da construção 4. Ordens de mudanças frequentes 5. Condições inesperadas do solo e do terreno

Amoatey e Ankrah	Gana	2017	Road	<ol style="list-style-type: none"> 1. Atraso no financiamento e pagamento do trabalho concluído pelo proprietário 2. Experiência inadequada do contratado 3. Alterações de escopo pelo proprietário durante a construção 4. Atraso para fornecer e entregar o local ao contratante 5. Alocação de financiamento inflexível para itens do projeto
Venkateswaran e Murugasan	Índia	2017	RoadoverBridge	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aquisição de terras 2. Muitas partes interessadas 3. Deslocamento da rede 4. Exigências legais e reivindicações 5. Disputas
Alfakhri <i>et al.</i>	Libia	2017	Road	<ol style="list-style-type: none"> 1. Atrasos na conversão e transferência de serviços de utilidade pelas autoridades competentes (como linhas de energia, água, etc.) 2. Dificuldade de disponibilização de Orçamento para o projeto 3. Cronograma impreciso 4. Atraso nos pagamentos em andamento pelo proprietário 5. Efeitos das condições do subsolo (subterrâneo)
Lozano Serna <i>et al.</i>	Colômbia	2018	Road***	<ol style="list-style-type: none"> 1. Planejamento do cronograma 2. Máquinas necessárias no prazo 3. Mudanças nos projetos 4. Variações/desvalorização da moeda 5. Setor dentro da atividade econômica. 6. Falta de materiais necessários no prazo 7. Falta de comunicação entre as partes envolvidas 8. Variações/desvalorização da moeda 10. Práticas fraudulentas 11. Tipo de projeto
Cabahug <i>et al.</i>	Filipinas	2018	Road	<ol style="list-style-type: none"> 1. Direito de passagem na estrada 2. Mudança na quantidade 3. Paz e ordem 4. Chuva forte
Rudeli <i>et al.</i>	Equador	2018	Road***	<ol style="list-style-type: none"> 1. Execução 2. Aspectos administrativos 3. Projeto/Design

				<ul style="list-style-type: none"> 4. Mão de obra 5. Maquinário 6. Materiais 5. Clima
Thapanont, Santi e Pruethipong	Tailândia	2018	<i>Highway</i>	<ul style="list-style-type: none"> 1. Desenhos incompletos 2. Falta de eficiência do equipamento ou situação financeira dos empreiteiros 3. Atraso na realocização das estruturas de serviços públicos existentes 4. Menos experiências de engenheiro de projetos 5. Atraso nos estudos de impacto ambiental
Pai <i>et al.</i>	Índia	2018	<i>Road e Highway</i>	<ul style="list-style-type: none"> 1. Atraso na aquisição do terreno 2. Fluxo de caixa durante a construção 3. Má gestão por parte do empreiteiro (financeiro, fornecedor, suporte, subcontrato) 4. Planejamento inadequado 5. Mudança no escopo do projeto/obra extra
Al Hadithi	Iraque	2018	<i>Highway</i>	<ul style="list-style-type: none"> 1. Decisões políticas e realidades políticas 2. Crise econômica do país 3. Atrasos no teste de materiais e na obtenção dos resultados 4. Atraso nos pagamentos mensais do empreiteiro 5. Falha no tratamento dos atrasos na implementação do projeto 6. Condições climáticas 7. Atraso nas atividades durante a implementação
Alfakhri, Ismail e Khoiry	Líbia	2018	<i>Road</i>	<ul style="list-style-type: none"> 1. Excesso de custos 2. Prorrogações de prazo 3. Disputas 4. Perda de lucro 5. Quebra de contrato 6. Má qualidade do trabalho 7. Má reputação da empresa
Karunakaran, Malek e Ramli	Malásia	2019	<i>Road /Highway</i>	<ul style="list-style-type: none"> 1. Má programação e planejamento de projetos 2. Alterações de design 3. Existência de muitas utilidades subterrâneas 4. Trabalho adicional (imprevistos) 5. Falta de materiais 6. Material e equipamento

				<p>insuficiente</p> <ol style="list-style-type: none"> 7. Má comunicação e interação 8. Questões trabalhistas 9. Clima 10. Método de construção incorreto 11. Empreiteiros inexperientes 12. Má investigação do local
Rachid, Toufik e Mohammed	Argélia	2019	<i>Highway</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pedidos de mudança lenta 2. Duração do contrato irrealista 3. Pedidos de variação lenta em quantidades extras 4. Atrasos no pagamento de trabalhos executados 5. Planejamento e programação ineficazes por parte dos contratados
Sohu e Chandio	Paquistão	2019	<i>Highway</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Má gestão do local 2. Experiência inadequada do empreiteiro 3. Comunicação entre as partes interessadas da construção 4. Preço variação de materiais 5. Erros de projeto 6. Planejamento 7. Falta de material 8. Má gestão contrato 9. Licenças lentas pelas autoridades locais 10. Mudança no escopo do projeto
Kumar	Índia	2020	<i>HighwayandExpressway</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Situação política 2. Adjudicação do projeto ao preço da proposta mais baixa 3. Incapaz de entregar o requerido e o Direito de passagem sem entraves (ROW) em tempo por Cliente 4. Pagamentos de progresso atrasados pelo proprietário 5. Mão-de-obra insuficiente e incompetente sem engajamento
Kassa	Etiópia	2020	<i>Federal Roadand Railway Construction</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Inflação do custo do material 2. Alteração de escopo com pedido de alteração 3. Estudo incompleto antes da aprovação do projeto 4. Má especificação/ou lista de quantidade e design 5. Monitoramento deficiente do desempenho do projeto 6. Má gestão e coordenação do projeto 7. Problema de aquisição de direito de passagem

				8. Previsão imprecisa 9. Viés de excesso de confiança das partes interessadas do projeto e interesse próprio das partes interessadas do projeto 10. Ineficiência das empreiteiras
Al Hinai, Widyarto e Bhuiyan	Omã	2020	Road	1. Falta de comunicação entre as partes do projeto principal (cliente, contratante e consultores) 2. Planejamento inadequado do projeto 3. Engenheiros e supervisores de obra sem experiência 4. Causas externas, como o clima (temperatura e chuvas de inundação)
Bounthipphasert <i>et al.</i>	Cisjordânia na Palestina	2020	Road	1. Fluxo de caixa do empreiteiro 2. Pagamento atrasado pelo proprietário 3. Dificuldades no financiamento do projeto pelo contratante 4. Questões financeiras relacionadas ao proprietário 5. Equipamentos e veículos insuficientes para o trabalho
Melaku Belay <i>et al.</i>	Etiópia	2020	Road	1. Variações (design mudanças/trabalho extra) 2. Condições econômicas (moeda, inflação) 3. Escalada de preços de materiais 4. Escassez de materiais de construção 5. Atrasos nos pagamentos 6. Restrições financeiras 7. Demora na elaboração e aprovação dos desenhos 8. Local ruim 9. Gestão e mau planejamento
Rivera, Baguec e Yeom	***	2020	Road	1. Falta de um gestor de construção experiente 2. Planejamento/programação inadequado 3. Influência nas terras das pessoas juntamente com o projeto de construção de estradas 4. Má comunicação entre as partes de construção e alterações frequentes na concepção 5. Falta de equipamento 6. Força maior 7. Modificação do contrato

				8. Atrasos na execução da faturação do progresso 9. Falta de materiais de construção e Atraso no pagamento aos empreiteiros 10. Baixa produtividade laboral
Mejía <i>et al.</i>	África e Ásia	2020	Road	1. Atrasos de pagamento ao contratante 2. Dificuldades financeiras do proprietário 3. Experiência inadequada do contratante 4. Falta de equipamentos 5. Má gestão e supervisão do local 6. Situação política 7. Falta de comunicação com as partes interessadas 8. Escassez de materiais 9. Planejamento de projeto inadequado 10. Dificuldades financeiras do contratante 11. Cronograma impreciso 12. Tomada de decisão tardia pelo proprietário 13. Aquisição de terras 14. Problemas de economia 15. Falhas no projeto 16. Realocação de utilidades subterrâneas 17. Duração do contrato irreal 18. Sondagem do local imprecisa 19. Alterar pedidos devido ao proprietário 20. Condições do solo
Subedi e Joshi	Nepal	2020	Road	1. Condições meteorológicas e climáticas 2. Demora na decisão de realocação do serviço 3. Longa cadeia de processo decisório hierárquico 4. Aquisição/doação de terras 5. Estimativa de tempo imprecisa 6. Erros durante a construção 7. Conflito entre co-propriedade do projeto 8. Má comunicação e coordenação entre os participantes 9. Falta de banco de dados e experiência para estimar a duração da atividade e os

				<p>recursos necessários em uma construção</p> <ol style="list-style-type: none"> 10. Falta de experiência e envolvimento do proprietário 11. Escassez de materiais/equipamentos 12. Gerenciamento inadequado de documentos do projeto 13. Falta de competência do consultor/projetista
Mohajeri Borje Ghaleh <i>et al.</i>	Irã	2021	Road	<ol style="list-style-type: none"> 1. Falta de financiamento suficiente 2. Aquisição de terrenos ao redor da estrada 3. Problemas de gestão - Falta experiência inadequada do contratante 4. Falta de equipamentos/maquinário - problemas técnicos 5. Questões Relacionadas ao Meio Ambiente e Recursos Naturais 6. Desastres naturais
Stević <i>et al.</i>	República do Benin	2022	Road	<ol style="list-style-type: none"> 1. Financiamento do projeto 2. Lentidão no processo de pagamento endossado pelo cliente 3. Escassez de pessoal profissional 4. Atraso no reembolso de indenização (proprietários) 5. Escalada de preços
Purushothaman e Kumar	Nova Zelândia	2022	Road	<ol style="list-style-type: none"> 1. Clima 2. Falta de material 3. Erros de dados geotécnicos 4. Escassez de mão-de-obra qualificada 5. Eventos, desastres e influência de pandemias 6. Falta de equipamento 7. Discriminações 8. Erros de concepção
Danial e Misnan	Malásia	2022	Road site	<ol style="list-style-type: none"> 1. Planejamento inadequado na aquisição de terras 2. Falta de planejamento abrangente sobre os impactos sociais que contribuem para as manifestações públicas e a recusa em evacuar a terra 3. Atrasar o pedido, a aprovação (duração prolongada) ou ambos do processo de aquisição de terras 4. Proprietários de terras

				demoram a desocupar a terra por motivos pessoais 5. Lidar com o deslocamento de posseiros
Negesa	Etiópia	2022	<i>Road</i>	1. Relutância dos consultores 2. Estimativa imprecisa do período do contrato 3. Atraso nas aprovações e tomada de decisão tardia 4. Mobilização lenta do trabalho 5. Algumas manobras de licitação por empreiteiros 6. Resposta lenta e inspeção ruim 7. Atraso no pagamento ao fornecedor/subcontratado 8. Inflação/flutuação de preços 9. Má aquisição de materiais 10. Problema com vizinhos (questão de direito de passagem)

Fonte: autora.

APÊNDICE B

A seguir estão descritos na Tabela 14 as 472 causas que foram alcançados nos artigos selecionados:

Tabela 18 - Causas de atrasos identificadas nos artigos selecionados (seleção inicial sem uniformizar).

Nº	Causas de atrasos identificadas
1	Conflitos entre subcontratados
2	Organização e falta de recursos suficientes
3	Projeto inadequado (deficiente/incompleto/desatualizado)
4	Deficiências entre consultores/projetistas e empreiteiros
5	Modificações de planos
6	Condições alteradas causadas por erros de sondagens/detectável ruim
7	Falta de coordenação adequada do projeto por todos os participantes
8	Projeto inadequado (deficiente/incompleto/desatualizado)
9	Atraso nas deslocções de utilidades
10	Erros nos Planos ou Especificações
11	Diferentes condições do local
12	Condições climáticas adversas
13	Alterações do projeto solicitadas pelo proprietário
14	Diferentes condições do local
15	Problemas relacionados às permissões das partes interessadas
16	Planejamento e programação/agendamento deficientes/ineficazes
17	Atraso na revisão e aprovação do projeto/design
18	Itens de pagamento não correspondem ao escopo do trabalho
19	Má gestão e supervisão local
20	Má assistência a gestão do projeto
21	Dificuldades financeiras do proprietário
22	Dificuldades financeiras do empreiteiro
23	Solicitações frequentes de mudanças/alterações no projeto
24	Atrasos nos pagamentos
25	Dificuldades financeiras do proprietário
26	Dificuldades financeiras do empreiteiro
27	Mudanças no escopo contratual do projeto (pedidos de alterações, supressão e/ou acréscimos)
28	Instabilidade econômica (moeda, inflações, etc..)
29	Atraso na aquisição de materiais
30	Solicitações frequentes de mudanças/alterações no projeto
31	Problemas de pessoal
32	Falta de equipamentos
33	Supervisão deficiente
34	Erros durante a construção

35	Má coordenação no local
36	Mudanças nas especificações
37	Conflitos, greves e/ou outros problemas trabalhistas
38	Atraso nos pagamentos ao empreiteiro pelo proprietário
39	Solicitações frequentes de mudanças/alterações no projeto
40	Flutuação de preços/inflação nos preços dos materiais e mão de obra
41	Atraso no cronograma
42	Subestimação do tempo para conclusão
43	Baixo conhecimento dos documentos do projeto pela equipe
44	Erros e omissões do projeto
45	Trabalho adicional/retrabalho
46	Políticas governamentais inapropriadas
47	Falta de priorização e integração com o planejamento estratégico
48	Planejamento e programação/agendamento deficientes/ineficazes
49	Variação de preços/inflação nos preços dos materiais
50	Aquisição e reassentamento de terras
51	Problemas de fluxo de caixa dos empreiteiros durante a construção
52	Atraso na decisão por parte do proprietário
53	Erros e alterações na concepção do projeto
54	Erros de planejamento do projeto (estimativas de custos e prazos irrealistas)
55	Deslocalização de serviços e utilitários
56	Atraso nos pagamentos ao empreiteiro pelo proprietário
57	Condições climáticas adversas/força maior
58	Experiência inadequada do empreiteiro
59	Dificuldades financeiras do empreiteiro
60	Planejamento e programação/agendamento deficientes/ineficazes
61	Mudanças de âmbito/terreno/escopo e trabalho adicional
62	Atraso na entrega do local/canteiro ao empreiteiro
63	Atraso e/ou dificuldades na obtenção de licenças e aprovações nos órgãos competentes
64	Situação política
65	Segmentação da Cisjordânia e movimento limitado entre áreas
66	Critério de licitação impróprio/deficiente (menor preço/oferta baixa, qualificação técnica/financeira)
67	Atraso nos pagamentos ao empreiteiro pelo proprietário
68	Falta de equipamentos e materiais
69	Atrasos nos pagamentos
70	Atraso na entrega do local/canteiro ao empreiteiro
71	Variação de custos
72	Alterações do projeto durante a construção
73	Problemas no processo de aquisição do terreno
74	Falta de combustível
75	Problemas de fluxo de caixa do empreiteiro
76	Escassez de moeda estrangeira para importação de materiais e equipamentos
77	Procedimentos de pagamento lentos adotados pelo cliente para efetuar

	pagamentos adiantados
78	Falta de equipamentos
79	Atraso na realocação de utilidades
80	Falta de materiais de construção no local
81	Atraso no pagamento de indenizações aos proprietários de terrenos/local
82	Escassez e falta de qualificação da equipe técnica do empreiteiro
83	Atraso na mobilização do canteiro pelo empreiteiro
84	Atraso na decisão por parte do proprietário
85	Falta de coordenação e supervisão da construção
86	Baixo nível de produtividade do trabalho da mão de obra
87	Instabilidade econômica (moeda, inflações, etc..)
88	Falta de materiais, ferramentas e equipamentos no mercado
89	Falta de coordenação entre o proprietário e a equipe de projeto/design
90	Atraso na prestação de serviços de utilidade pública permanentes
91	Mudança no local/condição do solo
92	Atraso e/ou dificuldades na obtenção de licenças e aprovações nos órgãos competentes
93	Planejamento e programação/agendamento deficientes/ineficazes
94	Atrasos nos pagamentos
95	Atraso na tomada de decisão por parte do empreiteiro
96	Mudanças no escopo de trabalho
97	Atrasos nos pagamentos
98	Falta de monitoramento e controle
99	Alto custo investimento/de capital
100	Instabilidade política e questões relacionadas à governabilidade
101	Problemas no processo de aquisição do terreno
102	Atraso nos estudos de impacto ambiental
103	Encerramento financeiro
104	Alterações do projeto solicitadas pelo proprietário
105	Má gestão e supervisão local
106	Experiência inadequada do consultor/supervisão
107	Inspeção/supervisão deficiente do empreiteiro
108	Dificuldades financeiras empreiteiro
109	Solicitações frequentes de mudanças/alterações no projeto
110	Escassez de mão de obra qualificada e não qualificada
111	Planejamento e programação/agendamento deficientes/ineficazes
112	Má comunicação entre o empreiteiro e as outras partes do projeto
113	Escassez de mão de obra qualificada e não qualificada
114	Má gestão e supervisão do local
115	Falta de equipamentos e materiais
116	Dificuldades/Falta de recursos para o financiamento do projeto
117	Suspensão do trabalho pelo proprietário
118	Mudanças no escopo projeto
119	Atraso na tomada de decisão

120	Dificuldades/Falta de recursos para o financiamento do projeto
121	Experiência inadequada da equipe de projeto/design
122	Atraso nas respostas das agências de serviços públicos
123	Dificuldades na obtenção de autorizações de trabalho
124	Condições climáticas adversas
125	Desvio de tráfego
126	Condições climáticas adversas
127	Dificuldades financeiras do proprietário
128	Atraso na tomada de decisão
129	Burocracia na organização do proprietário
130	Planejamento e programação/agendamento deficientes/ineficazes
131	Condições climáticas adversas
132	Experiência inadequada do consultor/supervisão
133	Critério de licitação impróprio/deficiente (menor preço/oferta baixa, qualificação técnica/financeira)
134	Dificuldades financeiras do proprietário
135	Falta de gerenciamento adequado
136	Planejamento e programação/agendamento deficientes/ineficazes
137	Escassez de mão de obra qualificada e não qualificada
138	Restrições do local
139	Problemas de fluxo de caixa dos empreiteiros durante a construção
140	Variação do preço dos recursos
141	Sobrecarga do empreiteiro
142	Medidas de segurança
143	Mudanças governamentais de regulamentos e burocracia
144	Feriados oficiais e não oficiais
145	Baixo desempenho das empreiteiras de menor oferta no sistema de licitação do governo
146	Alterações do projeto solicitadas pelo proprietário
147	Alterações do projeto solicitadas pelos consultores/projetistas
148	Atraso nos pagamentos de andamento pelo proprietário
149	Problemas com a comunidade local
150	Falta de experiência do proprietário em projetos de construção
151	Instabilidade econômica (moeda, inflações, etc.) /Condições econômicas locais e globais ruins
152	Más condições do solo/terreno
153	Condições climáticas adversas
154	Variação nas ordens de serviço
155	Escassez de mão de obra qualificada e não qualificada
156	Interferência no trabalho pelo proprietário
157	Atraso na tomada de decisão
158	Atraso nos pagamentos de andamento pelo proprietário
159	Método construtivo ineficaz implementado pelo empreiteiro
160	Falta de materiais de construção no local
161	Atraso no pagamento do empreiteiro ao subcontratado ou fornecedores

162	Atraso na resolução de problemas de projeto
163	Alterações do projeto solicitadas pelos consultores/projetistas
164	Estimativa de custo imprecisa do projeto
165	Dificuldades na obtenção de autorizações de trabalho
166	Critério de licitação impróprio/deficiente (menor preço/oferta baixa, qualificação técnica/financeira)
167	Problemas no processo de aquisição do terreno
168	Desvio de tráfego
169	Condições climáticas adversas
170	Falta de materiais de construção no local
171	Condições climáticas adversas
172	Condições climáticas adversas
173	Impacto na terra das pessoas
174	Critério de licitação impróprio/deficiente (menor preço/oferta baixa, qualificação técnica/financeira)
175	Avárias frequentes de equipamentos
176	Má gestão e supervisão do local
177	Más condições do solo/terreno
178	Escassez e falta de qualificação da equipe técnica do empreiteiro
179	Atraso nos pagamentos de andamento pelo proprietário
180	Baixo nível de produtividade do trabalho da mão de obra
181	Dificuldades/Falta de recursos para o financiamento do projeto
182	Dificuldades financeiras do proprietário
183	Dificuldades financeiras do empreiteiro
184	Falta de equipamentos
185	Experiência inadequada do empreiteiro
186	Erros pelo proprietário
187	Falta de materiais de construção no local
188	Avárias frequentes de equipamentos
189	Erros de projeto dos projetistas/consultores
190	Erros na sondagem do solo
191	Subcontratados não qualificados
192	Baixa qualificação da equipe técnica do subcontratado
193	Retrabalho devido a mudança/erro de projeto/design ou ordem de alteração (incompatibilidades)
194	Má gestão e supervisão do local
195	Erros e discrepâncias nos projetos/design
196	Erros na sondagem do solo
197	Falta de mão de obra qualificados para equipamentos especializados
198	Desapropriação lenta de terras devido à resistência dos ocupantes
199	Guerra/conflitos e desordem civil
200	Retrabalhos devido a defeitos nos materiais de construção
201	Alterações do projeto durante a construção pelo proprietário
202	Obstruções físicas
203	Atraso na entrega do projeto pelo consultor/projetista

204	Condição subterrânea inesperada
205	Problemas no processo de aquisição do terreno
206	Serviços de linha (serviços públicos e serviços subterrâneos)
207	Re-designing
208	Erros de planejamento do projeto (estimativas de custos e prazos irrealistas)
209	Experiência inadequada do empreiteiro
210	Atraso deliberado na construção pela GC (Arábia Saudita)
211	Mudança de consultor/projetista durante a execução do projeto
212	Diferenças de opinião do Ministério do Trânsito
213	Conflitos com outros Ministérios do governo
214	Má comunicação entre as partes envolvidas do projeto
215	Atraso nos pagamentos de andamento pelo proprietário
216	Instabilidade econômica (moeda, inflações, etc..)
217	Atraso nas atividades durante a implementação
218	Dificuldades financeiras do proprietário
219	Condições De Citação Imprevistas
220	Experiência inadequada do empreiteiro
221	Estimativa de custo imprecisa do projeto
222	Movimento Lento Do Equipamento
223	Projeto inadequado (deficiente/incompleto/desatualizado)
224	Baixa qualidade do material de construção
225	Atraso na entrega de certificados de pagamento
226	Avárias frequentes de equipamentos
227	Falta de materiais de construção no local
228	Má gestão e supervisão do local
229	Entrega atrasada/lenta de materiais
230	Métodos de construção ineficaz
231	Projeto inadequado (deficiente/incompleto/desatualizado)
232	Condições das fundações encontradas no local
233	Estimativa de custo imprecisa do projeto
234	Má supervisão
235	Atrasos nos pagamentos
236	Atraso na mudança de utilidades existentes
237	Variação de custos
238	Alterações de design durante a construção
239	Problemas no processo de aquisição do terreno
240	Problemas de fluxo de caixa (pagamentos irregulares/ não ocorrência de pagamentos atempados)
241	Atrasos no pagamento ao empreiteiro
242	Dificuldades/Falta de recursos para o financiamento do projeto
243	Atraso nos pagamentos de andamento pelo proprietário
244	Variação de preços/inflação nos preços dos materiais
245	Má gestão e supervisão do local
246	Planejamento e programação/agendamento deficientes/ineficazes

247	Falta de estudos de produtividade durante a fase de implementação
248	Cronograma com tempo irrealista
249	Escassez de mão de obra qualificada e não qualificada
250	Interferência desnecessária na obra do empreiteiro
251	Comunicação e coordenação deficientes entre o projetista/designer
252	Utilização de equipamento e ferramentas inadequadas
253	Disparidade de especificações (não-conformidade)
254	Sanções por danos impostas aos empreiteiros
255	Falta de comunicação entre os envolvidos
256	Interferência entre as diferentes tarefas dos subcontratantes
257	Condições climáticas adversas
258	Armazenamento inadequado causando danos aos materiais
259	Excesso de mão-de-obra (mais do que necessário)
260	Planejamento e programação/agendamento deficientes/ineficazes
261	Baixo nível de produtividade do trabalho da mão de obra
262	Obras adicionais
263	Retrabalho
264	Experiência inadequada do empreiteiro
265	Situação política
266	Atraso nos pagamentos ao empreiteiro pelo proprietário
267	Falta de coordenação entre as partes envolvidas da construção
268	Ordens de mudanças frequentes
269	Más condições do solo/terreno
270	Atraso nos pagamentos de andamento pelo proprietário
271	Experiência inadequada do empreiteiro
272	Solicitações frequentes de mudanças/alterações no projeto
273	Atraso na entrega do local/canteiro ao empreiteiro
274	Dificuldades/Falta de recursos para o financiamento do projeto
275	Problemas no processo de aquisição do terreno
276	Muitas partes interessadas
277	Deslocamento da rede
278	Exigências legais e reivindicações
279	Disputas
280	Atrasos na conversão e transferência de serviços de utilidade pelas autoridades competentes (como linhas de energia, água, etc..)
281	Dificuldade de disponibilização de Orçamento para o projeto
282	Cronograma com tempo irrealista
283	Atraso nos pagamentos ao empreiteiro pelo proprietário
284	Condições do subsolo (subterrâneo)
285	Cronograma com tempo irrealista
286	Entrega atrasada/lenta de equipamentos
287	Solicitações frequentes de mudanças/alterações no projeto
288	Variações/desvalorização da moeda
289	Setor dentro da atividade econômica

290	Entrega atrasada/lenta de materiais
291	Falta de comunicação entre os envolvidos
292	Variações/desvalorização da moeda
293	Corrupção/práticas fraudulentas
294	Características físicas/tipo de projeto
295	Falta no direito de passagem na estrada
296	Erros de planejamento do projeto (estimativas de custos e prazos irrealistas)
297	Paz e ordem
298	Condições climáticas adversas
299	Execução
300	Aspectos administrativos
301	Projeto/Design
302	Ineficiência da mão de obra
303	Ineficiência dos equipamentos
304	Materiais
305	Condições climáticas adversas
306	Projeto inadequado (deficiente/incompleto/desatualizado)
307	Falta de eficiência do equipamento
308	Dificuldades financeiras do empreiteiro
309	Atraso na realocação das estruturas de serviços públicos existentes
310	Falta de experiência da empresa de consultoria/projetistas
311	Atraso nos estudos de impacto ambiental
312	Problemas no processo de aquisição do terreno
313	Problemas de fluxo de caixa dos empreiteiros durante a construção
314	Má gestão por parte do empreiteiro (financeiro, fornecedor, suporte, subcontrato)
315	Planejamento e programação/agendamento deficientes/ineficazes
316	Mudanças no escopo projeto
317	Obras adicionais
318	Situação política
319	Crise econômica do país
320	Atrasos no teste de materiais e na obtenção dos resultados
321	Atraso nos pagamentos de andamento pelo proprietário
322	Falha no tratamento dos atrasos na implementação do projeto
323	Condições climáticas adversas
324	Atraso nas atividades durante a implementação
325	Estimativa de custo imprecisa do projeto
326	Cronograma com tempo irrealista
327	Disputas
328	Perda de lucro
329	Quebra de contrato
330	Má qualidade do trabalho
331	Má reputação da empresa
332	Planejamento e programação/agendamento deficientes/ineficazes

333	Solicitações frequentes de mudanças/alterações no projeto
334	Existência de muitas utilidades subterrâneas
335	Trabalho adicional (imprevistos)
336	Falta de materiais de construção no local
337	Falta de equipamentos e materiais
338	Falta de comunicação entre os envolvidos
339	Questões trabalhistas
340	Condições climáticas adversas
341	Métodos de construção ineficaz
342	Experiência inadequada do empreiteiro
343	Erros na sondagem do solo
344	Atraso na tomada de decisão
345	Cronograma com tempo irrealista
346	Solicitações frequentes de mudanças/alterações no projeto
347	Atraso nos pagamentos de andamento pelo proprietário
348	Planejamento e programação/agendamento deficientes/ineficazes
349	Má gestão e supervisão do local
350	Experiência inadequada do empreiteiro
351	Falta de coordenação entre as partes envolvidas da construção
352	Flutuação de preços/inflação nos preços dos materiais e mão de obra
353	Projeto inadequado (deficiente/incompleto/desatualizado)
354	Planejamento e programação/agendamento deficientes/ineficazes
355	Falta de material
356	Má gestão contrato
357	Atraso e/ou dificuldades na obtenção de licenças e aprovações nos órgãos competentes
358	Mudanças no escopo projeto
359	Situação política
360	Critério de licitação impróprio/deficiente (menor preço/oferta baixa, qualificação técnica/financeira)
361	Incapaz de entregar o requerido e o Direito de passagem sem entraves (ROW) em tempo por Cliente
362	Atraso nos pagamentos ao empreiteiro pelo proprietário
363	Escassez de mão de obra qualificada e não qualificada
364	Variação de preços/inflação nos preços dos materiais
365	Mudanças no escopo projeto
366	Estudo incompleto antes da aprovação do projeto
367	Erros de planejamento do projeto (estimativas de custos e prazos irrealistas)
368	Monitoramento deficiente do desempenho do projeto
369	Planejamento e programação/agendamento deficientes/ineficazes
370	Problema de aquisição de direito de passagem
371	Cronograma com tempo irrealista
372	Viés de excesso de confiança das partes interessadas do projeto e interesse próprio das partes interessadas do projeto
373	Experiência inadequada do empreiteiro

374	Falta de comunicação entre os envolvidos
375	Planejamento e programação/agendamento deficientes/ineficazes
376	Engenheiros e supervisores de obra sem experiência
377	Condições climáticas adversas
378	Problemas de fluxo de caixa do empreiteiro
379	Atrasos no pagamento ao empreiteiro
380	Dificuldades no financiamento do projeto pelo empreiteiro
381	Dificuldades financeiras do proprietário
382	Equipamentos e veículos insuficientes para o trabalho
383	Solicitações frequentes de mudanças/alterações no projeto
384	Condições econômicas (moeda, inflação)
385	Variação de preços/inflação nos preços dos materiais
386	Atrasos nos pagamentos
387	Restrições financeiras
388	Atraso na elaboração e aprovação dos desenhos
389	Más condições do solo/terreno
390	Planejamento e programação/agendamento deficientes/ineficazes
391	Má gestão e supervisão do local
392	Planejamento e programação/agendamento deficientes/ineficazes
393	Impacto na terra das pessoas Influência nas terras das pessoas juntamente com o projeto de construção de estradas
394	Falta de coordenação entre as partes envolvidas da construção
395	Solicitações frequentes de mudanças/alterações no projeto
396	Falta de equipamentos
397	Força maior
398	Modificação do contrato
399	Atrasos na execução da faturação do progresso
400	Falta de materiais de construção no local
401	Atraso nos pagamentos ao empreiteiro pelo proprietário
402	Baixo nível de produtividade do trabalho da mão de obra
403	Atraso nos pagamentos ao empreiteiro pelo proprietário
404	Dificuldades financeiras do proprietário
405	Experiência inadequada do empreiteiro
406	Falta de equipamentos
407	Má gestão e supervisão do local
408	Situação política
409	Falta de comunicação entre os envolvidos
410	Falta de materiais
411	Planejamento e programação/agendamento deficientes/ineficazes
412	Dificuldades financeiras do proprietário
413	Cronograma com tempo irrealista
414	Atraso na tomada de decisão por parte do proprietário
415	Problemas no processo de aquisição do terreno

416	Instabilidade econômica (moeda, inflações, etc..)
417	Projeto inadequado (deficiente/incompleto/desatualizado)
418	Realocação de utilidades subterrâneas
419	Cronograma com tempo irrealista
420	Erros na sondagem do solo
421	Alterações do projeto solicitadas pelo proprietário
422	Más condições do solo/terreno
423	Condições climáticas adversas
424	Atraso na tomada de decisão
425	Longa cadeia de processo decisório hierárquico
426	Problemas no processo de aquisição do terreno
427	Cronograma com tempo irrealista
428	Erros durante a construção
429	Conflito entre co-propriedade do projeto
430	Falta de comunicação entre os envolvidos
431	Falta de base de dados e baixa experiência para planejar/gerenciar o projeto
432	Falta de experiência da equipe técnica do empreiteiro
433	Falta de equipamentos e materiais
434	Gerenciamento inadequado de documentos do projeto
435	Falta de competência do consultor/projetista
436	Dificuldades/Falta de recursos para o financiamento do projeto
437	Problemas no processo de aquisição do terreno
438	Má gestão e supervisão do local
439	Experiência inadequada do empreiteiro
440	Falta de equipamentos/maquinário (problemas técnicos)
441	Questões Relacionadas ao Meio Ambiente e Recursos Naturais
442	Desastres naturais
443	Dificuldades/Falta de recursos para o financiamento do projeto
444	Atraso nos pagamentos ao empreiteiro pelo proprietário
445	Escassez de mão de obra qualificada e não qualificada
446	Atraso no pagamento de indenizações aos proprietários de terrenos/local
447	Variação de preços/inflação nos preços dos materiais
448	Condições Climáticas adversas
449	Falta de material
450	Erros na sondagem do solo
451	Escassez de mão de obra qualificada e não qualificada
452	Eventos, desastres e influência de pandemias
453	Falta de equipamento
454	Discriminações
455	Erros e alterações na concepção do projeto
456	Problemas no processo de aquisição do terreno
457	Falta de planejamento abrangente sobre os impactos sociais que contribuem para as manifestações públicas e a recusa em evacuar a terra
458	Problemas no processo de aquisição do terreno

459	Desapropriação lenta de terras devido à resistência dos ocupantes
460	Lidar com o deslocamento de posseiros
461	Relutância dos consultores
462	Cronograma com tempo irrealista
463	Atraso e/ou dificuldades na obtenção de licenças e aprovações nos órgãos competentes
464	Atraso na tomada de decisão
465	Mobilização lenta do trabalho
466	Algumas manobras de licitação por empreiteiros
467	Inspeção/supervisão deficiente do empreiteiro
468	Atraso nas respostas das agências de serviços públicos
469	Atraso no pagamento do empreiteiro ao subcontratado ou fornecedores
470	Variação de preços/inflação nos preços dos materiais
471	Atraso na aquisição de materiais
472	Problema com vizinhos (questão de direito de passagem)

APÊNCIDE C

A seguir estão descritos na Tabela 15 os fatores similares e com o mesmo significado que foram uniformizados, e foram excluídos os fatores que se repetiram na lista, e assim, obteve-se 220 fatores de atrasos de infraestrutura rodoviária:

Tabela 19 - Causas de atrasos identificadas nos artigos selecionados (seleção com uniformização).

Nº	Causas de atrasos identificadas (uniformizadas)	Frequência
1	Atraso nos pagamentos ao empreiteiro pelo proprietário	19
2	Planejamento e programação/agendamento deficientes/ineficazes	18
3	Condições climáticas adversas	16
4	Dificuldades financeiras do empreiteiro	15
5	Problemas no processo de aquisição do terreno	12
6	Cronograma com tempo irrealista	11
7	Experiência inadequada do empreiteiro	11
8	Falta de materiais de construção no local	11
9	Má gestão e supervisão do local	11
10	Projeto inadequado (deficiente/incompleto/desatualizado)	11
11	Solicitações frequentes de mudanças/alterações no projeto	10
12	Escassez de mão de obra qualificada e não qualificada	8
13	Dificuldades/Falta de recursos para o financiamento do projeto	7
14	Atraso na tomada de decisão	6
15	Atrasos nos pagamentos	6
16	Falta de comunicação entre os envolvidos	6
17	Falta de equipamento	6
18	Variação de preços/inflação nos preços dos materiais	6
19	Critério de licitação impróprio/deficiente (menor preço/oferta baixa, qualificação técnica/financeira)	5
20	Erros na sondagem do solo	5
21	Más condições do solo/terreno	5
22	Situação política	5
23	Alterações do projeto solicitadas pelo proprietário	4
24	Atraso e/ou dificuldades na obtenção de licenças e aprovações nos órgãos competentes	4
25	Baixo nível de produtividade do trabalho da mão de obra	4
26	Erros de planejamento do projeto (estimativas de custos e prazos irrealistas)	4
27	Estimativa de custo imprecisa do projeto	4
28	Falta de equipamentos e materiais	4
29	Instabilidade econômica (moeda, inflações, etc.)	4
30	Métodos de construção ineficaz	4
31	Mudanças no escopo projeto	4
32	Atraso na entrega do local/canteiro ao empreiteiro	3
33	Avarias frequentes de equipamentos	3

34	Experiência inadequada da equipe de projeto/design	3
35	Falta de coordenação entre as partes envolvidas da construção	3
36	Problemas de fluxo de caixa dos empreiteiros durante a construção	3
37	Alterações do projeto solicitadas pelos consultores/projetistas	2
38	Atraso na aquisição de materiais	2
39	Atraso na decisão por parte do proprietário	2
40	Atraso nas respostas das agências de serviços públicos	2
41	Atraso no pagamento de indenizações aos proprietários de terrenos/local	2
42	Atraso no pagamento do empreiteiro ao subcontratado ou fornecedores	2
43	Atraso nos estudos de impacto ambiental	2
44	Desapropriação lenta de terras devido à resistência dos ocupantes	2
45	Desvio de tráfego	2
46	Diferentes condições do local	2
47	Dificuldades na obtenção de autorizações de trabalho	2
48	Disputas	2
49	Entrega atrasada/lenta de materiais	2
50	Erros durante a construção	2
51	Erros e alterações na concepção do projeto	2
52	Escassez e falta de qualificação da equipe técnica do empreiteiro	2
53	Experiência inadequada do consultor/supervisão	2
54	Flutuação de preços/inflação nos preços dos materiais e mão de obra	2
55	Impacto na terra das pessoas Influência nas terras das pessoas juntamente com o projeto de construção de estradas	2
56	Inspeção/supervisão deficiente do empreiteiro	2
57	Mudanças no escopo de trabalho	2
58	Obras adicionais	2
59	Problemas de fluxo de caixa do empreiteiro	2
60	Variação de custos	2
61	Variações/desvalorização da moeda	2
62	Algumas manobras de licitação por empreiteiros	2
63	Alterações de design durante a construção	2
64	Alterações do projeto durante a construção pelo proprietário	1
65	Alto custo investimento/de capital	1
66	Aquisição e reassentamento de terras	1
67	Armazenamento inadequado causando danos aos materiais	1
68	Aspectos administrativos	1
69	Atraso deliberado na construção pela GC (Arábia Saudita)	1
70	Atraso na tomada de decisão por parte do empreiteiro	1
71	Atraso na elaboração e aprovação dos desenhos	1
72	Atraso na entrega de certificados de pagamento	1
73	Atraso na entrega do projeto pelo consultor/projetista	1
74	Atraso na mobilização do canteiro pelo empreiteiro	1
75	Atraso na mudança de utilidades existentes	1
76	Atraso na prestação de serviços de utilidade pública permanentes	1

77	Atraso na realocação de utilidades	1
78	Atraso na realocação das estruturas de serviços públicos existentes	1
79	Atraso na resolução de problemas de projeto	1
80	Atraso na revisão e aprovação do projeto/design	1
81	Atraso na tomada de decisão por parte do proprietário	1
82	Atraso nas atividades durante a implementação	1
83	Atraso nas deslocações de utilidades	1
84	Atrasos na conversão e transferência de serviços de utilidade pelas autoridades competentes (como linhas de energia, água, etc..)	1
85	Atrasos na execução da faturação do progresso	1
86	Atrasos no teste de materiais e na obtenção dos resultados	1
87	Baixa qualidade do material de construção	1
88	Baixa qualificação da equipe técnica do subcontratado	1
89	Baixo conhecimento dos documentos do projeto pela equipe	1
90	Baixo desempenho das empreiteiras de menor oferta no sistema de licitação do governo	1
91	Burocracia na organização do proprietário	1
92	Características físicas/tipo de projeto	1
93	Comunicação e coordenação deficientes entre o projetista/designer	1
94	Condição subterrânea inesperada	1
95	Condições alteradas causadas por erros de sondagens/detectável ruim	1
96	Condições climáticas adversas/força maior	1
97	Condições das fundações encontradas no local	1
98	Condições De Citação Imprevistas	1
99	Condições do subsolo (subterrâneo)	1
100	Condições econômicas (moeda, inflação)	1
101	Conflito entre co-propriedade do projeto	1
102	Conflitos com outros Ministérios do governo	1
103	Conflitos entre subcontratados	1
104	Conflitos, greves e/ou outros problemas trabalhistas	1
105	Corrupção/práticas fraudulentas	1
106	Crise econômica do país	1
107	Deficiências entre consultores/projetistas e empreiteiros	1
108	Desastres naturais	1
109	Deslocalização de serviços e utilitários	1
110	Deslocamento da rede	1
111	Diferenças de opinião do Ministério do Trânsito	1
112	Dificuldade de disponibilização de Orçamento para o projeto	1
113	Dificuldades no financiamento do projeto pelo empreiteiro	1
114	Discriminações	1
115	Disparidade de especificações (não-conformidade)	1
116	Encerramento financeiro	1
117	Engenheiros e supervisores de obra sem experiência	1
118	Entrega atrasada/lenta de equipamentos	1
119	Equipamentos e veículos insuficientes para o trabalho	1

120	Erros nos Planos ou Especificações	1
121	Erros pelo proprietário	1
122	Escassez de moeda estrangeira para importação de materiais e equipamentos	1
123	Estudo incompleto antes da aprovação do projeto	1
124	Eventos, desastres e influência de pandemias	1
125	Excesso de mão-de-obra (mais do que necessário)	1
126	Exigências legais e reivindicações	1
127	Existência de muitas utilidades subterrâneas	1
128	Falha no tratamento dos atrasos na implementação do projeto	1
129	Falta de base de dados e baixa experiência para planejar/gerenciar o projeto	1
130	Falta de combustível	1
131	Falta de coordenação adequada do projeto por todos os participantes	1
132	Falta de coordenação e supervisão da construção	1
133	Falta de coordenação entre o proprietário e a equipe de projeto/design	1
134	Falta de eficiência do equipamento	1
135	Falta de equipamentos/maquinário (problemas técnicos)	1
136	Falta de estudos de produtividade durante a fase de implementação	1
137	Falta de experiência da equipe técnica do empreiteiro	1
138	Falta de experiência do proprietário em projetos de construção	1
139	Falta de gerenciamento adequado	1
140	Falta de mão de obra qualificados para equipamentos especializados	1
141	Falta de materiais, ferramentas e equipamentos no mercado	1
142	Falta de monitoramento e controle	1
143	Falta de planejamento abrangente sobre os impactos sociais que contribuem para as manifestações públicas e a recusa em evacuar a terra	1
144	Falta de priorização e integração com o planejamento estratégico	1
145	Falta no direito de passagem na estrada	1
146	Feriados oficiais e não oficiais	1
147	Força maior	1
148	Gerenciamento inadequado de documentos do projeto	1
149	Guerra/conflitos e desordem civil	1
150	Incapaz de entregar o requerido e o Direito de passagem sem entraves (ROW) em tempo por Cliente	1
151	Ineficiência da mão de obra	1
152	Ineficiência dos equipamentos	1
153	Instabilidade econômica (moeda, inflações, etc.) /Condições econômicas locais e globais ruins	1
154	Instabilidade política e questões relacionadas à governabilidade	1
155	Interferência desnecessária na obra do empreiteiro	1
156	Interferência entre as diferentes tarefas dos subcontratantes	1
157	Interferência no trabalho pelo proprietário	1
158	Itens de pagamento não correspondem ao escopo do trabalho	1
159	Lidar com o deslocamento de posseiros	1
160	Longa cadeia de processo decisório hierárquico	1
161	Má assistência a gestão do projeto	1
162	Má comunicação entre as partes envolvidas do projeto	1

163	Má comunicação entre o empreiteiro e as outras partes do projeto	1
164	Má coordenação no local	1
165	Má gestão do contrato	1
166	Má gestão por parte do empreiteiro (financeiro, fornecedor, suporte, subcontrato)	1
167	Má qualidade do trabalho	1
168	Má reputação da empresa	1
169	Má supervisão	1
170	Medidas de segurança	1
171	Mobilização lenta do trabalho	1
172	Modificação do contrato	1
173	Modificações de planos	1
174	Monitoramento deficiente do desempenho do projeto	1
175	Movimento Lento Do Equipamento	1
176	Mudança de consultor/projetista durante a execução do projeto	1
177	Mudança no local/condição do solo	1
178	Mudanças de âmbito/terreno/escopo e trabalho adicional	1
179	Mudanças governamentais de regulamentos e burocracia	1
180	Mudanças no escopo contratual do projeto (pedidos de alterações, supressão e/ou acréscimos)	1
181	Muitas partes interessadas	1
182	Obstruções físicas	1
183	Ordens de mudanças frequentes	1
184	Organização e falta de recursos suficientes	1
185	Paz e ordem	1
186	Perda de lucro	1
187	Políticas governamentais inapropriadas	1
188	Problema com vizinhos (questão de direito de passagem)	1
189	Problema de aquisição de direito de passagem	1
190	Problemas com a comunidade local	1
191	Problemas de fluxo de caixa (pagamentos irregulares/ não ocorrência de pagamentos atempados)	1
192	Problemas de pessoal	1
193	Problemas relacionados às permissões das partes interessadas	1
194	Procedimentos de pagamento lentos adotados pelo cliente para efetuar pagamentos adiantados	1
195	Quebra de contrato	1
196	Questões Relacionadas ao Meio Ambiente e Recursos Naturais	1
197	Questões trabalhistas	1
198	Re-designing	1
199	Realocação de utilidades subterrâneas	1
200	Relutância dos consultores	1
201	Restrições do local	1
202	Restrições financeiras	1
203	Retrabalho	1
204	Retrabalho devido a mudança/erro de projeto/design ou ordem de alteração	1

	(incompatibilidades)	
205	Retrabalhos devido a defeitos nos materiais de construção	1
206	Sanções por danos impostas aos empreiteiros	1
207	Segmentação da Cisjordânia e movimento limitado entre áreas	1
208	Serviços de linha (serviços públicos e serviços subterrâneos)	1
209	Setor dentro da atividade econômica	1
210	Sobrecarga do empreiteiro	1
211	Subcontratados não qualificados	1
212	Subestimação do tempo para conclusão	1
213	Supervisão deficiente	1
214	Suspensão do trabalho pelo proprietário	1
215	Trabalho adicional (imprevistos)	1
216	Trabalho adicional/retrabalho	1
217	Utilização de equipamento e ferramentas inadequadas	1
218	Variação do preço dos recursos	1
219	Variação nas ordens de serviço	1
220	Viés de excesso de confiança das partes interessadas do projeto e interesse próprio das partes interessadas do projeto	1

APÊNDICE D

Grupos principais (Critérios) e seus respectivos subcritérios com o significado de sua identidade abreviada:

Subcritérios relacionados à **CONTRATADA**:

Custo: Estimativa de custo imprecisa do projeto

Tempo: Cronograma com tempo irrealista

Coordenação: Falta de coordenação entre as partes envolvidas da construção

Aquisição: Atraso na aquisição de materiais

Supervisão: Inspeção/supervisão deficiente do empreiteiro

Qualificação: Escassez e falta de qualificação da equipe técnica do empreiteiro

Fluxo de Caixa: Problemas de fluxo de caixa do empreiteiro

Mobilização: Atraso na mobilização do canteiro pelo empreiteiro

Licença: Licenças de operação e funcionamento

Subcritérios relacionados ao **PROJETISTA**:

Experiência: Experiência inadequada da equipe de projeto/design

Alterações: Alterações do projeto solicitadas pelos consultores/projetistas

Supervisão: Experiência inadequada do consultor/supervisão

Design: Alterações de design durante a construção

Mudanças de equipe: Mudança de consultor/projetista durante a execução do projeto

BIM: Uso de tecnologias relacionadas a BIM no desenho dos projetos

Aprovações: Atraso na revisão e aprovação do projeto/design

Subcritérios relacionados ao **GESTOR**:

Obra: Obras adicionais

Habilidade: Baixo conhecimento dos documentos do projeto pela equipe

Características: Características físicas/tipo de projeto

Comunicação/coordenação: Comunicação e coordenação deficientes entre o projetista/designer

Inconsistência: Disparidade de especificações (não-conformidade)

Planejamento: Falta de base de dados e baixa experiência para planejar/gerenciar o projeto

BIM 4D: Uso de tecnologias relacionadas a BIM no gerenciamento do projeto

Subcritérios relacionados aos **MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E MÃO DE OBRA:**

Material: Falta de materiais de construção no local

Mão de obra: Escassez de mão de obra qualificada e não qualificada

Equipamento: Falta de equipamento

Produtividade: Baixo nível de produtividade do trabalho da mão de obra

Escassez: Falta de equipamentos e materiais excluir pois já existe

Defeitos: Avarias frequentes de equipamentos

Entrega: Entrega atrasada/lenta de materiais

Subcritérios relacionados aos **FATORES EXTERNOS:**

Clima: Condições climáticas adversas

Política: Situação política

Economia: Instabilidade econômica (moeda, inflação, etc.)

Serviços Públicos: Atraso nas respostas das agências de serviços públicos

Ambiente: Questões Relacionadas ao Meio Ambiente e Recursos Naturais

APÊNDICE E

Ordem de prioridade e seus respectivos pesos de acordo com cada especialista:

Especialista 1

	E1			Matriz de opinião	
MME2	MAO DE OBRA	0,71963	G	GESTOR	0,36851
FE2	POLITICA	0,64682	FE	FATORES EXT	0,36851
P1	EXPERIÊNCIA	0,59708	C	CONTRATANTE	0,15937
G2	PLANEJAMENTO	0,52637	P	PROJETISTA	0,06166
C2	CUSTO	0,43323	MME	MAT MAO/EQUIP	0,04195
C1	TEMPO	0,30414			
P2	ALTERAÇÕES	0,21672			
G1	OBRA	0,20352			
MME4	DEFEITOS	0,19441			
FE4	SERV PUB	0,19078			
G5	INCONSISTENCIA	0,13114			
C3	COORDENAÇÃO	0,11533			
P4	MUDANÇAS	0,09684			
FE3	ECONOMIA	0,093			
C4	FLUXO DE CAIXA	0,08683			
G4	COMUNICAÇÃO	0,08451			
C5	LIDERANÇA	0,06049			
G3	CARACTERISTICAS	0,05446			
P3	DESING	0,0531			
MME1	MATERIAL	0,04298			
MME3	EQUIPAMENTO	0,04298			
FE5	AMBIENTE	0,04256			
P5	BIM	0,03625			
FE1	CLIMA	0,02684			

Especialista 2

	E2			Matriz de opinião	
G3	CARACTERISTICAS	0,44596	C	CONTRATANTE	0,41087
C2	CUSTO	0,37339	MME	MAT MAO/EQUIP	0,18305
MME1	MATERIAL	0,37318	P	PROJETISTA	0,16481
MME4	DEFEITOS	0,33632	FE	FATORES EXT	0,13181
G4	COMUNICAÇÃO	0,28079	G	GESTOR	0,10946
FE1	CLIMA	0,27951			
C1	TEMPO	0,24472			
P2	ALTERAÇÕES	0,24446			
FE4	SERV PUB	0,2294			
P3	DESING	0,20606			
FE3	ECONOMIA	0,20235			
P1	EXPERIÊNCIA	0,19312			
P5	BIM	0,18879			
MME2	MAO DE OBRA	0,1783			
FE2	POLITICA	0,17648			
C5	LIDERANÇA	0,17427			
P4	MUDANÇAS	0,16759			
C3	COORDENAÇÃO	0,11899			
G5	INCONSISTENCIA	0,11543			
FE5	AMBIENTE	0,11225			
MME3	EQUIPAMENTO	0,1122			
C4	FLUXO DE CAIXA	0,08863			
G2	PLANEJAMENTO	0,08774			
G1	OBRA	0,07009			

Especialista 3

	E3			Matriz de opinião	
MME2	MAO DE OBRA	0,68297	FE	FATORES EXT	0,63417
G2	PLANEJAMENTO	0,67907	C	CONTRATANTE	0,14447
C5	LIDERANÇA	0,58956	G	GESTOR	0,1368
P5	BIM	0,52154	MME	MAT MAO/EQUIP	0,06518
FE5	AMBIENTE	0,48622	P	PROJETISTA	0,02298
P4	MUDANÇAS	0,23377			
FE4	SERV PUB	0,22543			
MME3	EQUIPAMENTO	0,22228			
FE2	POLITICA	0,14509			
C2	CUSTO	0,14388			
C1	TEMPO	0,11776			
C4	FLUXO DE CAIXA	0,09491			
P1	EXPERIÊNCIA	0,0851			
G5	INCONSISTENCIA	0,08346			
P2	ALTERAÇÕES	0,0825			
P3	DESING	0,08069			
FE3	ECONOMIA	0,07994			
G1	OBRA	0,07916			
G3	CARACTERISTICAS	0,07916			
G4	COMUNICAÇÃO	0,07916			
MME1	MATERIAL	0,06833			
FE1	CLIMA	0,06333			
C3	COORDENAÇÃO	0,0539			
MME4	DEFEITOS	0,02641			

Importância da prioridade final dos critérios e subcritérios de acordo com os três especialistas:

		E1	E2	E3	MEDIA
MME2	MAO DE OBRA	0,71963	0,1783	0,68297	0,5269666667
G2	PLANEJAMENTO	0,52637	0,08774	0,67907	0,43106
FE2	POLITICA	0,64682	0,17648	0,14509	0,3227966667
C2	CUSTO	0,43323	0,37339	0,14388	0,3168333333
P1	EXPERIÊNCIA	0,59708	0,19312	0,0851	0,2917666667
C5	LIDERANÇA	0,06049	0,17427	0,58956	0,2747733333
P5	BIM	0,03625	0,18879	0,52154	0,24886
C1	TEMPO	0,30414	0,24472	0,11776	0,2222066667
FE4	SERV PUB	0,19078	0,2294	0,22543	0,2152033333
FE5	AMBIENTE	0,04256	0,11225	0,4822	0,2123366667
G3	CARACTERISTICAS	0,05446	0,44596	0,07916	0,1931933333
MME4	DEFEITOS	0,19441	0,33632	0,02641	0,1857133333
P2	ALTERAÇÕES	0,21672	0,24446	0,0825	0,1812266667
P4	MUDANÇAS	0,09684	0,16759	0,23377	0,1660666667
MME1	MATERIAL	0,04298	0,37318	0,06833	0,1614966667
G4	COMUNICAÇÃO	0,08451	0,28079	0,07916	0,1481533333
MME3	EQUIPAMENTO	0,04298	0,1122	0,22228	0,12582
FE3	ECONOMIA	0,093	0,20235	0,07994	0,1250966667
FE1	CLIMA	0,02684	0,27951	0,06333	0,1232266667
G1	OBRA	0,20352	0,07009	0,07916	0,11759
P3	DESING	0,0531	0,20606	0,08069	0,1132833333
G5	INCONSISTENCIA	0,13114	0,11543	0,08346	0,11001
C3	COORDENAÇÃO	0,11533	0,11899	0,0539	0,09607333333
C4	FLUXO DE CAIXA	0,08683	0,08863	0,09491	0,09012333333

	Matriz de opinião	E1	E2	E3	MEDIA
FE	FATORES EXT	0,36851	0,13181	0,63417	0,3781633333
C	CONTRATANTE	0,15937	0,41087	0,14447	0,2382366667
G	GESTOR	0,36851	0,10946	0,1368	0,2049233333
MME	MAT MAO/EQUIP	0,04195	0,18305	0,06518	0,0967266667
P	PROJETISTA	0,06166	0,16481	0,02298	0,08315

APÊNDICE F

Formulário do questionário - *Google Forms*

Questionário

Este questionário faz parte da pesquisa de mestrado da aluna Erivânia Kayelle Lima de Abreu, orientada pela professora Dra. Emilia Rahnemay Kohlman Rabbani, líder do grupo de pesquisa da UPE, Desenvolvimento Seguro e Sustentável - DESS e professora permanente do programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UPE, e coorientada pela professora Dra. Márcia Rejane Oliveira Barros Carvalho Macedo, vice-líder do grupo DESS responsável pela linha Mobilidade Segura e Sustentável.

O objetivo desta pesquisa é obter parâmetros de ponderação dos critérios considerados pelos especialistas como relevantes para as variáveis dos fatores das causas de atrasos em projetos/obras de infraestrutura rodoviária.

Gostaríamos de contar com sua colaboração para responder este questionário. Sua colaboração é voluntária e será mantida anônima. Lembrando também que não há respostas certas ou erradas.

A identificação serve apenas para coleta e análise qualitativa e quantitativa dos dados.

A sessão inicial trará perguntas gerais.

A sessão seguinte é composta por questões específicas acerca dos possíveis critérios que colaboram para o atraso em projetos/obras de infraestrutura pública rodoviária (o preenchimento total dura cerca de 15 - 20 minutos).

A Lei Geral de Proteção de Dados (Lei nº 13.709/2018) entrou em vigor. Uma das mudanças diz respeito à forma como são tratados os dados pessoais fornecidos às empresas, qualquer que seja a atividade. Os participantes desta pesquisa, informa que os dados disponibilizados neste formulário serão de uso exclusivo deste estudo. Desde já, ao preencher esse formulário, você autoriza e concorda que se faça uso dessas informações apenas para levantamento de dados e divulgação de informações, em site e em redes sociais, podendo ser utilizados, observando os princípios e as garantias estabelecidas pela Lei nº 13.709/2018.

Caso tenha alguma dificuldade, favor comunicar. Qualquer dúvida entre em contato com os pesquisadores responsáveis através do e-mail:

Dra. Marcia Macedo - marcia.macedo@upe.br

Agradecemos desde já a sua colaboração!

* Indica uma pergunta obrigatória

1. E-mail *

2. Setor de atuação profissional *

Marque todas que se aplicam.

- Setor público
- Setor privado
- Terceiro setor
- Meio acadêmico
- Outro: _____

3. Qual o seu nível mais alto de formação? *

Marcar apenas uma oval.

- Ensino Médio completo
- Ensino Técnico
- Graduação
- Pós-graduação Lato Sensu
- Mestrado
- Doutorado

4. Qual sua função (ocupação) atual? *

5. Quantos anos de experiência tem em projetos de infraestrutura rodoviária que envolvem licitações públicas? *

6. Qual(is) técnica(s) de gerenciamento de projetos utiliza? *

Marque todas que se aplicam.

Estrutura Analítica do projeto (WBS)

Método do Caminho Crítico (CPM)

Avaliação do Programa e Técnica de Revisão (PERT)

Gráfico de Gantt

Outro: _____

7. Com qual frequência faz uso de tecnologias nas atividades de design, planejamento, cronograma e controle de projetos e obras? *

Marcar apenas uma oval por linha.

	Nunca	Raramente	Eventualmente	Frequentemente	Muito frequente
Frequência do uso de tecnologias	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

8. Em caso afirmativo para a questão anterior, mencione qual(is) atividade(s):

Identificação dos fatores de atrasos através do processo de hierarquia analítica AHP em obras de infraestrutura rodoviárias públicas brasileiras

O **método AHP** é uma abordagem para tomada de decisão multicritério proposto por Saaty (1980). O **AHP** é uma teoria de medição por meio de comparações de pares e se baseia nos julgamentos de especialistas.

A importância dos elementos é avaliada de acordo com a escala de 1 a 9 do **AHP**.

A aplicação do método para esta análise, serão avaliados os **Critério** e **Subcritério** através de uma comparação par a par.

Ao escolher o valor da escala, o número mais perto do **Critério ou Subcritério** diz que ele é mais importante que o outro, ou seja, a alternativa escolhida revela quantas vezes é mais importante que o outro ou se terão a mesma importância na comparação.

A comparação de pares será realizada usando uma escala de julgamentos que representam o quanto um elemento domina sobre outro em relação a um determinado atributo.

Caso os **Critério ou Subcritério** avaliados por vez, tenham a mesma importância, você deverá escolher o número 1 da escala verbal.

Você irá realizar primeiro a comparação par a par dos **5 Critérios** e, em seguida os **24 Subcritérios** que se encontram distribuídos dentro de cada Critério a ser julgado.

A depender do **critério ou subcritério** escolhido, ele será avaliado de acordo com a escala abaixo e sua explicação da escala verbal:

1 - Importância **igual**

3 - Importância **pequena**;

5 - Importância **grande**;

7 - Importância **muito grande**;

9 - Importância **extrema**.

1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra, sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.

Abaixo segue um exemplo, em que na primeira linha a comparação par a par entre o **Contratante** e o **Projetista** têm a mesma importância, dentro do contexto dos atrasos na infraestrutura rodoviária.

Na segunda linha entre o **Contratante** e o **Gestor**, a importância do Contratante é **muito grande** em relação ao Gestor, ou seja, na comparação par a par ele é 7 vezes mais importante, para ocorrência do atraso **em obras de infraestrutura rodoviárias públicas brasileiras**.

Contratante	9	7	5	3	X	3	5	7	9	Projetista
Contratante	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Gestor

Avaliação dos Critérios

Com base na literatura, dois níveis de fatores de atraso foram preparados. O objetivo é encontrar os fatores das causas de atrasos em um projeto de infraestrutura rodoviária pública no Brasil.

O primeiro nível contém cinco fatores principais: contratante, projetista, gestor, fator materiais, mão de obra e equipamentos e fatores externo.

Os fatores das causas de atrasos de projetos de infraestrutura rodoviária no Brasil apontados, podem ser definidos para melhor compreensão a seguir:

- **Critério relacionada ao contratante:** compreende o governo com serviços públicos para os projetos de infraestrutura rodoviária.

- **Critério relacionado ao projetista:** envolve os profissionais que elaboram e fornecem o design, e por sua vez sucessivamente induzem ao planejamento.

- **Critério relacionado ao gestor:** consiste na coordenação e cumprimento do planejamento com a comunicação eficiente entre as partes envolvidas no projeto.

- **Critério relacionado aos materiais, equipamentos e mão de obra:** influenciam a produtividade, como a escassez de materiais, ferramentas e equipamentos adequados, ferramentas e equipamentos insuficientes, ignorar programas de manutenção, e a incapacidade dos equipamentos.

- **Critério relacionado aos fatores externos:** consiste em condições imprevistas do local, variação de preços, mau tempo e obstáculos do governo.

Em relação aos **5 critérios** selecionados, com base em sua percepção qualitativa, faça a avaliação dos pares, onde um será mais importante que o outro.

Para isso na próxima seção serão apresentadas os pares que você deverá comparar e dizer quantas vezes o que escolheu é mais importante.

Estes **5 critérios** serão representados para este questionário, conforme a seguir:

C1 - Contratante;

C2 - Projetista;

C3 - Gestor;

C4 - Materiais, equipamentos e mão de obra;

C5 - Fatores externos.

CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS DAS CAUSAS DE ATRASOS EM PROJETOS/OBRA DE INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA

CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS DAS CAUSAS DE ATRASOS EM PROJETOS/OBRA DE INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA				
CONTRATANTE	PROJETISTA	GESTOR	MATERIAIS/ EQUIPAMENTOS/ MÃO DE OBRA	FATORES EXTERNOS
TEMPO	EXPERIÊNCIA	OBRA	MATERIAL	CLIMA
CUSTO	ALTERAÇÕES	PLANEJAMENTO	MÃO DE OBRA	POLÍTICA
COORDENAÇÃO	DESIGN	CARACTERÍSTICAS	EQUIPAMENTO	ECONOMIA
FLUXO DE CAIXA	MUD. DE EQUIP	COMUM/COORD	DEFEITOS	SERV PÚBLICOS
LICENÇA	BIM	INCONSISTÊNCIA		AMBIENTE

Sendo a explicação da escala verbal:

1 - Importância **igual**

3 - Importância **pequena**;

5 - Importância **grande**;

7 - Importância **muito grande**;

9 - Importância **extrema**.

C1	Contratante	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Projetista	C2
C1	Contratante	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Gestor	C3
C1	Contratante	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Mat/Equip/Mao	C4
C1	Contratante	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Fatores externos	C5
C2	Projetista	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Gestor	C3
C2	Projetista	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Mat/Equip/Mao	C4
C2	Projetista	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Fatores externos	C5
C3	Gestor	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Mat/Equip/Mao	C4
C3	Gestor	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Fatores externos	C5
C4	Mat/Equip/Mao	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Fatores externos	C5

12. Dependendo de sua opinião, faça a comparação par a par de acordo com os Critérios abaixo: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	9	7	5	3	1	3.	5.	7.	9.
C4 X	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
C5	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Estrutura da análise multicritério

Neste questionário, como foi adotado o método AHP, para sua estruturação, foi considerado no primeiro nível do modelo hierárquico os cinco fatores principais (**Critérios**): contratante, projetista, gestor, materiais/mão de obra/equipamentos, e fatores externos.

O segundo nível foi projetado com **24 Subcritérios** distribuídos dentro de cada **Critério**, que ficaram categorizadas de acordo com o seu grupo principal.

Os **Subcritérios** agrupados, são fatores de atrasos em projetos e obras de rodovias públicas brasileira.

Nas próximas seções deverá ser determinado qual a importância de um elemento sobre o outro, por meio da escala, nas comparações dos pares, de acordo com cada grupo.

Dessa forma, esta seção vem introduzir os mesmo, para avaliar comparando-os qualitativamente de acordo com sua opinião em relação aos outros **Subcritérios** relacionados.

Critério CONTATANTE

Nesta seção, busca-se estabelecer uma comparação entre os subcritérios relacionados ao **CONTRATANTE**, com base em sua percepção qualitativa quanto ao nível de importância de cada um vis-à-vis os demais.

Os **Subcritérios** avaliados são:

S1.1 - Tempo: Cronograma com tempo irrealista

S1.2 -Custo: Estimativa de custo imprecisa do projeto

S1.3 - Coordenação: Falta de coordenação entre as partes envolvidas da construção / Inspeção e/ou supervisão deficiente do empreiteiro / Escassez e falta de qualificação da equipe técnica do empreiteiro / Atraso na mobilização do canteiro pelo empreiteiro

S1.4 - Fluxo de Caixa: Problemas de fluxo de caixa do empreiteiro

S1.5 - Licença: Licenças de operação e funcionamento

Sendo a explicação da escala verbal:

1 - Importância **igual**

3 - Importância **pequena**;

5 - Importância **grande**;

7 - Importância **muito grande**;

9 - Importância **extrema**.

S1.1	Tempo	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Custo	S1.2
S1.1	Tempo	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Coordenação	S1.3
S1.1	Tempo	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Fluxo de Caixa	S1.4
S1.1	Tempo	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Licença	S1.5
S1.2	Custo	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Coordenação	S1.3
S1.2	Custo	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Fluxo de Caixa	S1.4
S1.2	Custo	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Licença	S1.5
S1.3	Coordenação	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Fluxo de Caixa	S1.4
S1.3	Coordenação	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Licença	S1.5
S1.4	Fluxo de Caixa	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Licença	S1.5

16. Dependendo de sua opinião, faça a comparação par a par de acordo com os Subcritérios abaixo: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	9	7	5	3	1	3.	5.	7.	9.
S1.4 X	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
S1.5	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Critério PROJETISTA

Nesta seção, busca-se estabelecer uma comparação entre os subcritérios relacionados ao **PROJETISTA**, com base em sua percepção qualitativa quanto ao nível de importância de cada um vis-à-vis os demais.

Os **Subcritérios** avaliados são:

S2.1 - Experiência: Experiência inadequada da equipe de projeto/design / Experiência inadequada do consultor/supervisão / Atraso na revisão e aprovação do projeto/design

S2.2 - Alterações: Alterações do projeto solicitadas pelo consultores/projetistas

S2.3 - Design: Alterações de design durante a construção

S2.4 - Mudanças de equipe: Mudança de consultor/projetista durante a execução do projeto

S2.5 - BIM: Uso de tecnologias relacionadas ao BIM no desenho dos projetos

Sendo a explicação da escala verbal:

1 - Importância **igual**

3 - Importância **pequena**;

5 - Importância **grande**;

7 - Importância **muito grande**;

9 - Importância **extrema**.

S2.1	Experiência	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Alterações	S2.2
S2.1	Experiência	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Desing	S2.3
S2.1	Experiência	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Mudanças de Equipe	S2.4
S2.1	Experiência	9	7	5	3	1	3	5	7	9	BIM	S2.5
S2.2	Alterações	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Desing	S2.3
S2.2	Alterações	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Mudanças de Equipe	S2.4
S2.2	Alterações	9	7	5	3	1	3	5	7	9	BIM	S2.5
S2.3	Desing	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Mudanças de Equipe	S2.4
S2.3	Desing	9	7	5	3	1	3	5	7	9	BIM	S2.5
S2.4	Mudanças de Equipe	9	7	5	3	1	3	5	7	9	BIM	S2.5

20. Dependendo de sua opinião, faça a comparação par a par de acordo com os Subcritérios abaixo: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	9	7	5	3	1	3.	5.	7.	9.
S2.4 X	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
S2.5	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Critério GESTOR

Nesta seção, busca-se estabelecer uma comparação entre os subcritérios relacionados ao **GESTOR**, com base em sua percepção qualitativa quanto ao nível de importância de cada um vis-à-vis os demais.

Os **Subcritérios** avaliados são:

S3.1 - Obra: Obras adicionais/Obras extras/Retrabalho

S3.2 - Planejamento: Baixo conhecimento dos documento do projeto pela equipe / Falta de base de dados e baixa experiência para planejar/gerenciar o projeto

S3.3 - Características: Características físicas/tipo de projeto

S3.4 - Comunicação/coordenação: Comunicação e coordenação deficientes entre o projetista/designer

S3.5 - Inconsistência: Disparidade de especificações (não-conformidade)

Sendo a explicação da escala verbal:

1 - Importância **igual**

3 - Importância **pequena**;

5 - Importância **grande**;

7 - Importância **muito grande**;

9 - Importância **extrema**.

S3.1	Obra	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Planejamento	S3.2
S3.1	Obra	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Características	S3.3
S3.1	Obra	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Comunicação/ Coordenação	S3.4
S3.1	Obra	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Inconsistência	S3.5
S3.2	Planejamento	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Características	S3.3
S3.2	Planejamento	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Comunicação/ Coordenação	S3.4
S3.2	Planejamento	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Inconsistência	S3.5
S3.3	Características	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Comunicação/ Coordenação	S3.4
S3.3	Características	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Inconsistência	S3.5
S3.4	Comunicação/ Coordenação	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Inconsistência	S3.5

24. Dependendo de sua opinião, faça a comparação par a par de acordo com os Subcritérios abaixo: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	9	7	5	3	1	3.	5.	7.	9.
S3.4 X	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
S3.5	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Critério MATERIAIS/MÃO DE OBRA/EQUIPAMENTOS

Nesta seção, busca-se estabelecer uma comparação entre os subcritérios relacionados aos **MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E MÃO DE OBRA**, com base em sua percepção qualitativa quanto ao nível de importância de cada um vis-à-vis os demais.

Os **Subcritérios** avaliados são:

S4.1 - Material: Falta de materiais de construção no local / Entrega atrasada/lenta de materiais

S4.2 - Mão de obra: Escassez de mão de obra qualificada e não qualificada / Baixo nível de produtividade do trabalho da mão de obra

S4.3 - Equipamento: Falta de equipamento

S4.4 - Defeitos: Avarias frequentes de equipamentos

Sendo a explicação da escala verbal:

1 - Importância **igual**

3 - Importância **pequena**;

5 - Importância **grande**;

7 - Importância **muito grande**;

9 - Importância **extrema**.

S4.1	Material	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Mão de Obra	S4.2
S4.1	Material	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Equipamento	S4.3
S4.1	Material	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Defeitos	S4.4
S4.2	Mão de Obra	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Equipamento	S4.3
S4.2	Mão de Obra	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Defeitos	S4.4
S4.3	Equipamento	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Defeitos	S4.4

27. Dependendo de sua opinião, faça a comparação par a par de acordo com os Subcritérios abaixo: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	9	7	5	3	1	3.	5.	7.	9.
S4.3 X	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
S4.4	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Critério FATORES EXTERNOS

Nesta seção, busca-se estabelecer uma comparação entre os subcritérios relacionados aos **FATORES EXTERNOS**, com base em sua percepção qualitativa quanto ao nível de importância de cada um vis-à-vis os demais.

Os **Subcritérios** avaliados são:

S5.1 - Clima: Condições climáticas adversas

S5.2 - Política: Situação política

S5.3 - Economia: Instabilidade econômica (moeda, inflação, etc.)

S5.4 - Serviços Públicos: Atraso nas respostas das agências de serviços públicos

S5.5 - Ambiente: Questões Relacionadas ao Meio Ambiente e Recursos Naturais

Sendo a explicação da escala verbal:

1 - Importância **igual**

3 - Importância **pequena**;

5 - Importância **grande**;

7 - Importância **muito grande**;

9 - Importância **extrema**.

S5.1	Clima	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Política	S5.2
S5.1	Clima	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Economia	S5.3
S5.1	Clima	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Serv. Públicos	S5.4
S5.1	Clima	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Ambiente	S5.5
S5.2	Política	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Economia	S5.3
S5.2	Política	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Serv. Públicos	S5.4
S5.2	Política	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Ambiente	S5.5
S5.3	Economia	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Serv. Públicos	S5.4
S5.3	Economia	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Ambiente	S5.5
S5.4	Serv. Públicos	9	7	5	3	1	3	5	7	9	Ambiente	S5.5

31. Dependendo de sua opinião, faça a comparação par a par de acordo com os Subcritérios abaixo: *

Marcar apenas uma oval por linha.

	9	7	5	3	1	3.	5.	7.	9.
S5.4 X S5.5	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

OUTROS CRITÉRIOS

Em vista dos critérios selecionados nessa pesquisa, logo abaixo diga-nos quais você acha importante e que não foi mencionado.

32. Quais outros critérios você acredita que sejam relevantes? *

FEEDBACK

A partir da sua experiência ao responder este questionário, gostaríamos que nos respondesse as seguintes perguntas:

33. Qual a sua opinião quanto a estrutura desse questionário? *

34. Foi de fácil compreensão? *

Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

Talvez

Outro: _____

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

ARTIGO PUBLICADO

JOURNAL OF MANAGEMENT AND SUSTAINABILITY; VOL. 13, NO. 2; 2023 ISSN 1925-4725 E-ISSN 1925-4733 PUBLISHED BY CANADIAN CENTER OF SCIENCE AND EDUCATION.

Identifying the Causes of Delay Using the Analytic Hierarchy Process (AHP) Method in Brazilian Public Road Infrastructure Projects

Identifying the Causes of Delay Using the Analytic Hierarchy Process (AHP) Method in Brazilian Public Road Infrastructure Projects

Erivânia Kayelle¹, Emilia Kohlman Rabbani¹ & Márcia Macedo²

¹ Post-Graduate Program in Civil Engineering, UPE, Pernambuco, Brazil

² Post-Graduate Program in Civil Engineering, UFPE, Pernambuco, Brazil

Correspondence: Márcia Macedo, Department of Civil Engineering, Polytechnic School of Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brazil.

Received: May 3, 2023

Accepted: June 27, 2023

Online Published: July 19, 2023

doi:10.5539/jms.v13n2p45

URL: <https://doi.org/10.5539/jms.v13n2p45>

Abstract

The highway infrastructure system plays an important role in a country whose continental extensions require an adequate transportation system to connect people and places and boost the economy. Delayed delivery of these projects is one of the most significant problems in the road construction industry and poses challenges to project success in terms of time, cost, quality, and safety. Some studies have carried out literature reviews, applied questionnaires and performed expert interviews, or used analytical methods such as machine learning and AHP (Analytic Hierarchy Process) to identify factors that cause delays. The objective of this study was to identify the main delay factors in road infrastructure projects using the AHP analytic hierarchy process approach in the context of public works management in Brazil. This study consisted of two stages, the first being a search in databases and search engines, using keywords that point to studies on delay factors in road construction projects. After this, the criteria and sub-criteria were examined and classified, and the factors and causes of delays were ranked based on discussions with an expert and the application of a questionnaire, according to the AHP methodology. The supporting software used was SuperDecisions. The main factors (criteria) and sub-factors (sub-criteria) that influence delay were categorized according to the literature. The main factors were compiled into five criteria called: principal contractor, designer, manager, material/manpower/equipment, and external factors. Within these groups, 24 sub-factors that most influenced delay were initially selected. But after the consistency tests were not acceptable, a new selection was made, which considered in the analysis the 15 most influential sub-factors. According to the experts, the order of importance was: Contractor>External Factors>Materials>Manpower and Equipment>Manager>Designer. The most important sub-criterion according to the specialists in causing delays in Brazilian road infrastructure projects was climate. The study pointed out which factors should have priority in decision-making to avoid delays in public, government-funded road transportation projects in Brazil. By applying it, one can arrive at the variables that can be used to develop a prediction model that helps mitigate the risks of delay in public road infrastructure projects.

Keywords: highway infrastructure, public works projects, AHP method, project delays, civil construction

1. Introduction

Highway infrastructure has been considered necessary for the economic development of any country since its very early days (Pai et al., 2018), contributing to its growth, efficiency, and the productivity of other industrial sectors, including construction. For this purpose, many investments are being made worldwide, and it is estimated that 25 million km of new paved roads will be built by 2050, enough to circle the planet 600 times (Alamgir et al., 2017).

The characteristics of road infrastructure require a long period of planning and construction (Park, 2021), and most road infrastructure projects are managed by the public sector (Karunakaran, Malek, & Ramli, 2019) in order to improve a country's social and economic activities (Kassa, 2020), such as access to markets, production, jobs, healthcare, and other social services (Al-Hadithi, 2018).

In Brazil, highways are the principal means of transportation. This mode of transport facilitates the mobility of products and services, the movement of cargo and passengers, as well as commercial activities in the surrounding areas. The National Department of Transportation Infrastructure (DNIT) is the agency responsible

for the construction, restoration, conservation, and maintenance of the federal inter-urban transport routes, and is linked to the Ministry of Infrastructure (MInfra). Currently, DNIT is responsible for a federal paved road network of 65.3 thousand km. This agency is also responsible for the management of the highways, providing increased safety and comfort to users throughout the road network under the agency's jurisdiction (DNIT, 2021).

The stages of design preparation and execution for road infrastructure projects are recurring challenges. These are divided into these principal stages: planning and definition, design, procurement, and construction (Rivera, Baguec Jr., & Yeom, 2020), which must be well-executed and concluded. Within these are factors that can lead to a delay in their use, that is, a delay in being able to fully utilize them. According to Yap et al. (2021), these may be related to clients, contractors, consultants, labor, equipment, and materials. They can also occur at different stages, depending on project size, construction duration, contract volume, and technical and managerial know-how (Mahamid, Bruland & Dmaid, 2012), as well as the location of the construction site (Cabahug et. al, 2018).

Delays in the delivery of public road infrastructure are a consequence that can be linked to the bidding stage through the selection of the lowest bidder (Bekr, 2015; Islam et al., 2015; Santoso & Soeng, 2016), to inadequate planning and design (Mejía et al., 2020), to inadequate project execution (Mohajeri Borje Ghaleh et al., 2021), or to a lack of sufficient resources (Noulmanee et al., 1999) that include labor, equipment, construction facilities and machinery, materials, money, and time (Danial & Misnan, 2022).

Designing and constructing road projects is always a challenge. Delay in completion is one of the most significant problems in the road construction industry and limits the success of these projects in terms of time, cost, quality, and safety (Mahamid, Bruland, & Dmaid, 2012; Mahamid, 2017; Bounthipphasert et al., 2020; Rivera, Baguec Jr., & Yeom, 2020). This delay in the ability to use infrastructure further reduces the social benefits that it should provide (Eriksson, Larsson, & Pesämaa, 2017). This implies that, without efficient transportation infrastructure, economic and social development could be severely hampered (Amoatey & Ankrah, 2017).

In developing countries, public construction projects are of particular importance because of their connection with the extension of infrastructure (Bagaya & Song, 2016). Brazil, as a developing country, is still greatly affected by the inadequacy of design and execution, which leads caused delays in construction with social and economic impacts. The goal of the government, through DNIT, is to serve the public by provisioning roads in a timely manner, because delays during road construction lead to excessive costs and obstacles for users, such as increased travel time.

Researchers have sought to identify the variables that cause delays in road projects, and have highlighted some causes and factors that lead to poor cost and time performance in developed and developing countries (Melaku Belay et al., 2021). Most of these studies were performed through an analysis of the literature coupled with questionnaires, as well as with analysis methods such as the Importance Index, Frequency Index, and Severity Index (Mohajeri Borje Ghaleh et al., 2021; Negesa, 2022; Purushothaman & Kumar, 2022; Subedi & Joshi, 2020; Mejía et al., 2020; Rivera, Baguec, & Yeom, 2020).

One approach that has been gaining space in the analysis of delay factors is the Analytic Hierarchy Process (AHP) (Khademi et al., 2012; Asadabadi, Chang, & Saberi, 2019; Razi, Ali, & Ramli, 2019; Tavassolirizi et al., 2020; Lin, Fan, & Chen, 2022). The AHP method is an approach to multicriteria decision-making proposed by Saaty (1980), which has been used by transportation researchers (Rabbani & Rabbani, 1996; Tavassolirizi et al., 2020; Lin, Fan, & Chen, 2022) to systematize complex problems through a hierarchical structure and to build an attribute comparison matrix to determine the weightings among the criteria.

The application of the AHP method to identify delay factors, according to Tavassolirizi et al. (2020), can begin from the existing literature, and then, through interviews with experts, the factors can be prioritized. This application follows the hierarchical construction, which can be established and represented by a selection of main groups (criteria), where each criterion can be divided into sub-criteria.

While there are many studies, as can be seen from the literature review, and while several studies have investigated the causes and effects of delays in the construction sector, very few have focused on road construction (Amoatey & Ankrah, 2017). Even though these studies have been applied and made a contribution to the scientific and professional community, the occurrence of delays in the delivery of road projects is still very common and requires further investigation (Sanni-Anibire, Zin, & Olatunji, 2021). Despite the contributions from these studies, in Brazil, there has been no research focused on delays in public road projects.

According to Macedo (2020), in the Brazilian context, the great difficulty regarding road management is the lack

of data on road projects (CNM, 2018). The lack of basic data on road projects is attributed to the particular characteristics of Brazilian traffic, which causes difficulties in using studies, models, and data from other countries as reference sources (Macedo, 2020). It can be seen that there is a significant relationship between the factors that cause delays in road projects and the involvement of particular circumstances.

Given the reality that, in Brazil, there are still no studies identifying the factors that cause delays in road projects and, given that the lack of investment is a result of economic difficulties, this study sought to validate the use of the AHP method, the factors of which are considered important by experts, for publicly-funded road infrastructure projects. Because of the importance of the numerous impacts that arise from delays, it is necessary to investigate and analyze their factors, with the hierarchization of the causes of delay being an important aid to decision-making.

1.1 Delays in Road Infrastructure

In a study by Amoatey and Ankrah (2017), when explaining concepts of delay, the authors indicated that several studies point out that delays occur in all construction projects. While the significance of this delay varies considerably from project to project, they suggest that a delay in project delivery is the most common, complex, and universal phenomenon in construction.

Because highway projects are heavy construction activities with a high degree of mechanization that require large volumes of materials, failures and shortages of these resources are potential delay factors (Mejía et al., 2020). Not limited to the construction process, factors such as inefficient decision-making, lack of team qualification, and conflicts between parties are also integral to these projects (Khair et al., 2018).

According to Williams (2003), a three-month delay during design can lead to a one-year delay in execution, resulting in substantial costs (Danial & Misnan, 2022). In the study conducted by Kassa (2020) in Ethiopia, it was revealed that 88% of road construction projects had been delayed and 80% of them cost more than originally planned. According to Mpofu et al. (2017), the causes of delay vary for each country and are associated with social, economic, and cultural issues.

There are several causes for delay or related factors that have been identified by project researchers in highway construction, as stated by Danial and Misnan (2022), in which some of the researchers categorized them into major groups. Aziz and Abdel-Hakam (2015) classified delays into the following groups:

- (1) Factors related to the owner, including the owner's financial difficulties and late payments for completed construction work.
- (2) Factors related to contractors, which include: poor site management and supervision, contractor's financial difficulties, obsolete or inadequate construction methods, inaccurate estimates, incompetent subcontractors, and errors during construction.
- (3) Factors related to consultants, including poor project management assistance, poor contract management, slow inspection of completed construction sites, and design errors.
- (4) Design-related factors, which include design changes, additional work, and the slow flow of information between the parties involved.
- (5) Factors related to materials and manpower, which include material shortages and skilled labor shortages.
- (6) External factors, including unforeseen site conditions, price fluctuations, bad weather, and government obstacles.

With clustering, the causes of delay are categorized according to their main group (Le-Hoai, Lee, & Lee, 2008; Mahamid, Bruland, & Dmaid, 2017), allowing mitigation actions to be implemented to avoid project delays (Zidane & Andersen, 2018). Identifying the factors and causes of road project delays makes it possible to see their effects and mitigation actions.

To develop this paper, data were collected from 55 studies conducted in many different countries, which are shown in Table 1.

Table 1. Literature used for data collection

Source/Author	Location	Project Type	Number of delay factors identified	Year
Noulmanee et al.	Thailand	Highway	4	1999
Vidalis & Najafi	Florida	Highway	4	2002
Ellis & Thomas	California/ Florida/Georgia/New York/South Carolina/Wisconsin	Highway	10	2003
Le-Hoai, Lee & Lee	Vietnam	Road	5	2008
Kaliba, Muya & Mumba	Zambia	Road	13	2009
Chileshe & Berko	Ghana	Road	7	2010
Nasir, Gabriel & Choudhry	Pakistan	Highway	20	2011
Mahamid, Bruland & Dmaid	Palestine	Highway and Road	5	2012
Wijekoon & Attanayake	Sri Lanka	Road	5	2012
Kamanga & Steyn	Malawi	Road	10	2013
Ezeldin & Abdel-Ghany	Egypt	Road + Engineering projects	13	2013
Alinaitwe, Apolot & Tindiwensi	Uganda	Road + Engineering projects	5	2013
Patil et al.	India	Road	6	2013
Ondari & Gekara	Kenya	Road	3	2013
Hasan, Suliman & Malki	Bahrain	Road	17	2014
Atibu	Kenya	Road	5	2015
Islam et al.	Bangladesh	Road + Engineering projects	10	2015
Bekr	Iraq	Road + Engineering projects	10	2015
Al-Hazim & Salem	Jordan	Road	4	2015
Honrao & Desai	India/Bahrain	Highway	15	2015
Santoso & Soeng	Cambodia	Road	10	2016
Aziz & Abdel-Hakam	Egypt	Road	20	2016
Elawi, Algahtany & Kashiwagi	Saudi Arabia	Road and Bridge	10	2016
Tesfa	Ethiopia	Asphalt road	10	2016
Aforla, Woode & Amoah	Ghana	Highway	10	2016
Ekanayake & Perera	Sri Lanka	Highway	5	2016
Khalid et al.	Sudan	Road	20	2017
Mahamid a	Saudi Arabia	Road	5	2017
Mahamid b	West Bank in Palestine	Road	5	2017
Amoatey & Ankrah	Ghana	Road	5	2017
Venkateswaran & Murugasan	India	Road over Bridge	5	2017
Alfakhri et al.	Libya	Road	5	2017
Lozano Serna et al.	Colombia	Road	10	2018
Cabahug et al.	Philippines	Road	4	2018
Rudeli et al.	Ecuador	Road	7	2018
Thapanont, Santi & Pruethipong	Thailand	Highway	5	2018
Pai et al.	India	Highway and Road	5	2018
Al Hadithi	Iraq	Highway	7	2018
Alfakhri, Ismail & Khoiry	Libya	Road	7	2018
Karunakaran, Malek & Ramli	Malaysia	Highway and Road	12	2019
Rachid, Toufik & Mohammed	Algeria	Highway	5	2019

Sohu & Chandio	Pakistan	Highway	10	2019
Kumar	India	Highway and Expressway	5	2020
Kassa	Ethiopia	Federal Road and Railway Construction	10	2020
Al Hinai, Widyarto & Bhuiyan	Oman	Road	4	2020
Bounthipphasert et al.	West Bank in Palestine	Road	5	2020
Melaku Belay et al.	Ethiopia	Road	9	2020
Rivera, Baguec & Yeom	***	Road	10	2020
Mejía et al.	Africa and Asia	Road	20	2020
Subedi & Joshi	Nepal	Road	13	2020
Mohajeri Borje Ghaleh et al.	Iran	Road	6	2021
Stević et al.	Republic of Benin	Road	5	2022
Purushothaman & Kumar	New Zealand	Road	8	2022
Danial & Misnan	Malaysia	Road site	5	2022
Negesa	Ethiopia	Road	10	2022

Note. *** more than 25 developing countries.

Several different studies have found factors that cause delays in road infrastructure projects. These were noted by researchers on every continent: Asia, Oceania, South America, Africa, North America, and Europe (Vidalis & Najafi, 2002; Aforla, Woode, & Amoah, 2016; Cabahug et al., 2018; Rudeli et al., 2018; Purushothaman & Kumar, 2022; Mejía et al., 2020). Asia featured the most research on delays in road infrastructure construction, followed by Africa. By country, the greatest number of delay factors were recorded in Ethiopia (39) (Tesfa, 2016; Kassa, 2020; Melaku Belay et al., 2020; Negesa, 2022), followed by India (36) (Patil et al., 2013; Venkateswaran & Murugasan, 2017; Pai et al., 2018; Kumar, 2020; Honrao & Desai, 2015) and Egypt (33) (Ezeldin & Abdel-Ghany, 2013; Aziz & Abdel-Hakam, 2016) (Figure 1).

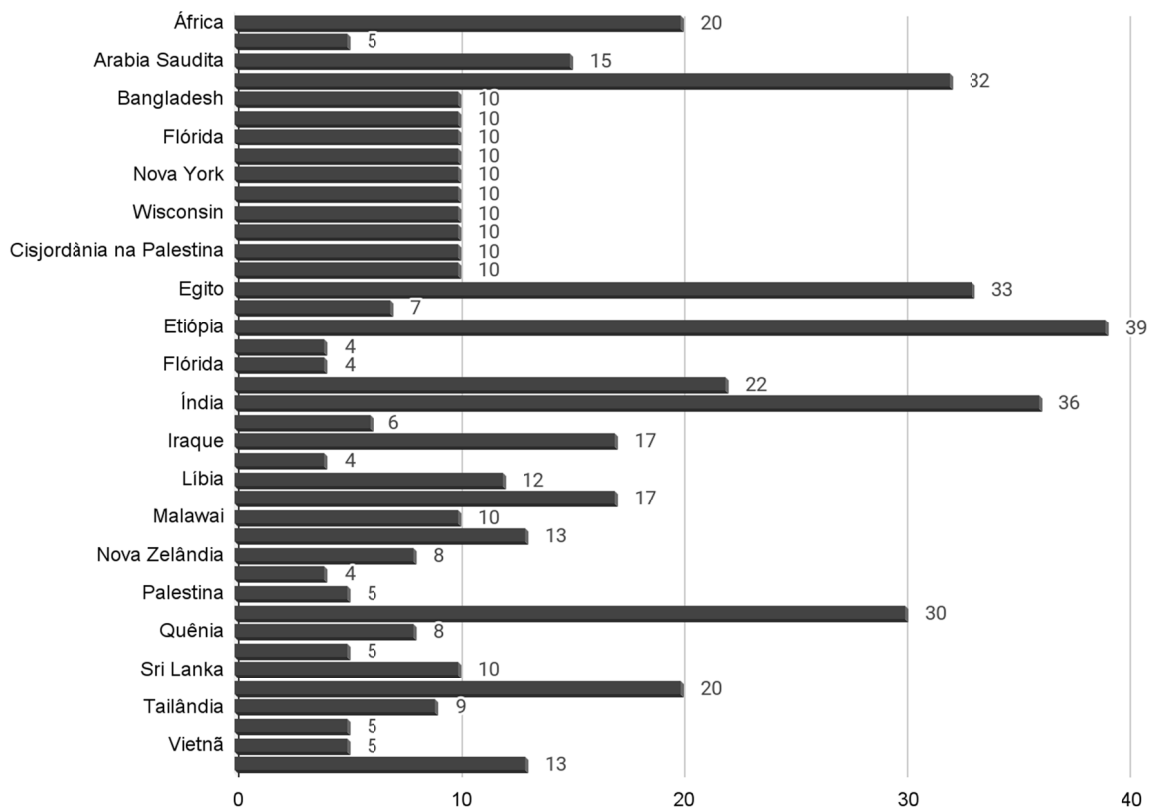


Figure 1. Number of delay factors identified per country

1.2 AHP Method Applied to Studies on Road Project Delay

The AHP, or analytic hierarchy process method, systematizes complex problems using a hierarchical structure (Lin, Fan, & Chen, 2022), where the importance of the attributes being investigated is identified. The weightings identified for the different attributes are determined by experts (specialists) who will conduct pairwise comparisons regarding the importance of the various criteria evaluated (Kimura & Suen, 2003). This method therefore divides the decision-making elements into multiple dimensions, hierarchically structuring a large and complex problem by dividing it into several small sub-problems, and then evaluating these sub-problems individually.

In this study, the AHP method was used as a tool to identify, through prioritization, the delay factors appropriate to the Brazilian reality, based on the analyses made by the specialists. The articles selected for the development of this study, which utilized this method, were:

Table 2. Studies that applied the AHP method to road projects

Source/Author	Methodology/Techniques Applied	Results
Lin, Fan, & Chen (2022)	Five dimensions and nineteen factors were established from the AHP-ANN (artificial neural network) combination and a model was developed to predict the main factors of construction risk and quality. Their influence on the public construction management of Taiwan's central government was analyzed.	The results can be used as a reference to develop decision-making strategies for management.
Mohajeri Borje Ghaleh et al. (2021)	The Ishikawa (cause-effect) diagram was used to organize the factors qualitatively, to identify and prioritize the delay risks with the AHP method by assigning weights to the delay factors for road construction projects.	This study presents the framework for identifying and prioritizing delay risks for road construction projects with the AHP method. It showed that financial and credit problems, land financing, management problems, technical problems, and natural disasters have the highest risk among the main criteria.
Tavassolirizi et al. (2020)	The causes of delays for rail transportation projects were identified from the existing literature and these factors were evaluated and prioritized using an AHP-based multi-criteria decision-making (MCDM) approach.	Of the four major factor categories identified, the management factor had the highest weight, with financial, design, and implementation factors ranked second through fourth, respectively. The sub-factors included: having numerous parties involved, lack of centralized supervision, and poor supervision by project managers.
Razi, Ali, & Ramli (2019)	Seven delay factors and twenty-two sub-factors were identified from a literature review and from consultations with roadway experts. The weights were determined based on a peer-assigned questionnaire distributed to a road project team, and subsequently, the prioritization of the delay factors was performed according to the AHP method.	They concluded that the top five highest priority factors were: technical, natural risk, economic and financial, contractual, and socio-political. The top five highest priority sub-factors were determined to be: financing risk, flood risk, heavy rainfall, soil conditions, and existing utility problems.

It can be seen in the selected articles that the results from the AHP method can assist decision-makers in selecting the best solutions. The present study, therefore, adopted this method for the selection of the factors, arriving at the criteria and sub-criteria, in other words, the main factors and their respective sub-factors. In this manner, it is possible to arrive at consistent variables that influence delays.

2. Materials and Methods

The methodology developed in this study combined a search of the literature for factors/variables of the main causes of delay in road infrastructure projects in Brazil and in the world with a subsequent questionnaire administered to experts with experience in road infrastructure projects, in order to prioritize the causes of delay in public infrastructure projects in Brazil using the AHP methodology. The phases developed are presented in the flowchart in Figure 2.

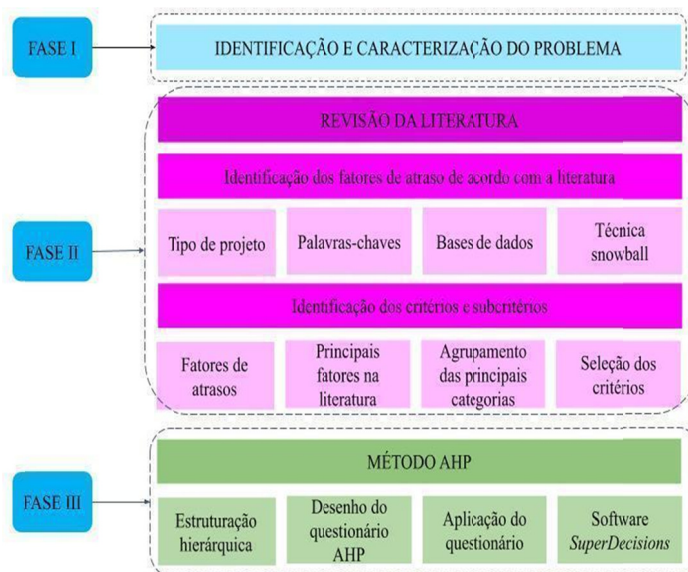


Figure 2. Flowchart of the methodology adopted

2.1 Phase 1 – Identification and Characterization of the Problem

Once the problem was identified and the scope of the study delimited, a literature investigation was prepared, which can be characterized as a descriptive study to determine and characterize the variables in a particular situation that approximated an exploratory study of the fundamentals important to develop a better understanding of the problem under study (Cavana, Delahaye, & Sekeran, 2001). This, in turn, included studies in the literature related to road infrastructure delays. A questionnaire was applied to experts in order to identify the factors for the local context. Finally, the analytic hierarchy process (AHP), a multicriteria decision-making (MCDM) approach, was applied to select factors that match the reality of the local context.

2.2 Phase 2 – Literature Review

The review was conducted through a survey of articles published on road infrastructure delay factors in indexed journals and scientific conferences. The search was conducted in the databases, and Google Scholar was also used. For data collection, the keywords “delay,” “road infrastructure,” “schedule delays,” “road construction project,” and “public construction” were used to find studies in the field of road infrastructure. Then, the terms “construction industry,” “road infrastructure construction project”, and “delays road infrastructure,” directed the searches to all titles, abstracts, and keywords. The intent was intended to reach the maximum number of publications that referred to these parameters, to discover a greater number of road transport infrastructure delay factors.

In order to analyze academic papers that meet the objectives of this study, the abstracts of all of the papers found were read, and the following inclusion criteria were adopted: being available in full, containing information on highway infrastructure projects, and identifying delay factors in highway projects. Course completion papers, dissertations, and theses were not considered, and replicated studies were discarded. After obtaining the total number of studies, articles that did not refer to road transport infrastructure were excluded.

To reach the representative number, the snowball technique was used, which uses reference networks to identify studies that were cited in the selected articles obtained from the search terms (Thomé, Scavarda, & Scavarda, 2016).

From the analysis of and extraction of information from the articles in the literature review on studies that focused on causes of delay in road infrastructure, the factors that contribute to delay were selected, resulting in 472 factors that were organized according to the various studies.

2.3 Phase 3 – AHP Method

To model the problem according to the AHP method, it is first necessary to choose some criteria so that the hierarchical structure can be constructed. Taking the literature review as a base and synthesizing the information, a list with the selected factors was created. The list was homogenized with similar factors. From this, the frequency of repeated road infrastructure delay factors could be realized. The selected factors then served as

sub-criteria and a preliminary list was defined. This list of sub-criteria was revised through discussions with specialists and academics, in order to fit the reality of government-funded road infrastructure projects in Brazil. These factors were grouped according to their characteristics, with each main group serving as a criterion. The different criteria were grouped according to the part or factor involved in the delay. The four main procedures are shown below (Figure 3):

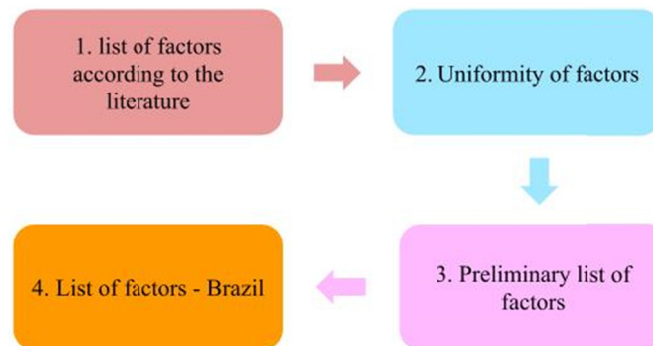


Figure 3. Flowchart of the criteria selection process

The decision was made to group the list of factors into the following five criteria: contractor; designer; manager; materials, manpower, and equipment; and external factors. A list of delay factors (sub-criteria) and their related groups (criteria) were therefore structured, in order to later select the factors to be used in the AHP questionnaire.

2.3.1 Design of the AHP Questionnaire

A questionnaire was designed based on the delay factors under consideration, which were selected and adapted for public road infrastructure projects in Brazil. The use of the questionnaire served as a qualitative approach (Cavana, Delahaye, & Sekaran, 2001) to obtain and analyze data that could be relevant or significant. The structuring was performed based on the AHP model with the data input being the list of criteria (Brazil) that served as the basis for the questionnaire. To organize the criteria and sub-criteria, the AHP method was simplified, using the SuperDecisions 3.2 software to create a hierarchical factor structure.

To inform the respondents of the questionnaire's purpose, the research objective was presented: to identify the causes of delay in road transportation infrastructure projects that the specialists considered relevant, as well as the factors that drive them the most, along with identifying which factors should have priority in decision making, in order to avoid or mitigate delays in future public road transportation projects in Brazil. Next, the sections of the questionnaire were explained. These sections are as follows:

Section A: General respondent information.

Section B: Expert opinion on various criteria as to their importance in relation to each other (contractor; designer; manager; materials, manpower, and equipment; and external factors), as well as their sub-criteria.

Section C: Expert opinion of which other criteria they believed were relevant and that had not been mentioned in the questionnaire.

The first part consisted of general questions, such as the respondent's professional field, highest level of education achieved, current occupation, years of experience in public infrastructure projects, project management techniques used, and the frequency of technological use in design, planning, scheduling, and project control activities (never, rarely, eventually, frequently, or very frequently).

The second part was designed as a peer questionnaire on the importance of delay factors in road infrastructure projects, with respondents being asked to grade the factors using the AHP model on a scale of 1 to 9. The questions asked which criterion (factor) was more important in relation to another and, among the selected criteria and sub-criteria, how much more each one contributed in relation to another towards delay in the construction of public road infrastructure projects in Brazil. The difference in importance between the factors was graded using the Likert scale for the dimensions (1, 3, 5, 7, and 9) and was categorized as follows: equal

importance (1), small difference (3), great difference (5), very great difference (7), and extreme difference (9), according to Saaty’s scale for determining the weights of each dimension and the importance of each factor (criterion) and sub-factor (sub-criterion).

2.3.2 Application of the AHP Questionnaire

After designing the questionnaire and selecting the experts, the questionnaires were sent out. They were developed to obtain expert opinions from experienced professionals in road infrastructure projects in Brazil. It was made available via Google Forms as a free online survey tool. The supporting software was SuperDecisions 3.2, a practical and fast decision support analysis tool that implements AHP to analyze the results of the questionnaire applied to the experts.

2.3.3 Multi-Criteria Analysis

With the AHP method, a problem is structured into hierarchical levels where the criteria and sub-criteria are ranked to assess technological options and where expert judgment is required to define the importance of each criterion and sub-criterion through peer-to-peer comparisons, according to the preferences established between them. The importance of one attribute over another is represented by fuzzy triangular numbers. These numbers are calculated according to expert judgment using linguistic terms based on the Saaty scale in 9 levels (Table 3).

Table 3. Fundamental Saaty scale

Numerical Scale	Verbal Scale	Explanation
1	Both elements are of equal importance	Both elements contribute to the property equally
3	Moderate importance of one element over the other	Experience and opinion favor one element over the other
5	Strong importance of one element over the other	One element is strongly favored
7	Very strong importance of one element over the other	One element is very strongly favored over the other
9	Extreme importance of one element over the other	One element is favored with at least an order of magnitude difference
2, 4, 6, 8	Intermediate values between adjacent opinions	Used as consensus values between opinions
0.1 increments	Intermediate values at the finest gradation of 0.1	Used for finer grades of opinions

The next step is to construct a set of square matrices for the paired comparison (Figure 4). This is constructed by comparing each element at a higher level with the elements at the level just below, using the fundamental importance scale. The weights of the factor for each level relative to an adjacent factor at the top level are calculated as the components of a normalized eigenvector, associated with the largest eigenvalue from its comparison matrix. Then, for each element at the level below, the weighted values were totaled and their local and global priorities were obtained. The composite weights of the decision alternatives were then determined by aggregating the weights through the hierarchy (Rabbani & Rabbani, 1996; Hossein, Kang, & Kim, 2015; Tavassolirizi et al., 2020; Lin, Fan, & Chen, 2022).

$$\begin{matrix}
 & c_1 & c_2 & \dots & c_n \\
 \begin{matrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} (1, 1, 1) & (1/a_{1[1,2]}, 1/a_{2[1,2]}, 1/a_{3[1,2]}) & \dots & (1/a_{1[1,n]}, 1/a_{2[1,n]}, 1/a_{3[1,n]}) \\ (1/a_{3[1,2]}, 1/a_{2[1,2]}, 1/a_{1[1,2]}) & (1, 1, 1) & \dots & \ddots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots \\ (1/a_{3[1,n]}, 1/a_{2[1,n]}, 1/a_{1[1,n]}) & \dots & \dots & (1, 1, 1) \end{bmatrix}
 \end{matrix}$$

Figure 4. Pairwise Comparison Matrix

The consistency analysis of the pairwise comparison matrices can be done using the consistency index (CI). The consistency ratio (CR) is the ratio between the consistency index of the judgment set and the random index (RI), as shown in Equation 1, of the corresponding random matrix in the AHP method.

$$CI = RC/RI \tag{1}$$

The consistency ratio (CR) is used to estimate the consistency of the pairwise comparisons, i.e., a CR value greater than 10% indicates that the judgments are at the limit of inconsistency and the weights may lead to

inaccurate conclusions. Saaty (2003) proposed this method to measure inconsistencies, by first estimating the consistency index (CI), where CR should not be greater than 0.10. Otherwise, the result of the pairwise comparison should be rejected and the comparison matrix should be revised (Equation 1). In this case, the pairwise comparisons must be reviewed and updated by the decision maker.

The consistency index (CI) of the pairwise comparison matrix was calculated from the ratio between the size of the matrix (n) and its largest eigenvalue (λ_{max}), as shown in Equation 2:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \tag{2}$$

The random consistency index (RI) was determined empirically by considering a randomly generated sample of 500 positive reciprocal matrices (Phuangpornpitak & Tia, 2013).

The values assigned to RI by Saaty and Vargas (2012), according to the order of the matrix n, are shown in Table 4.

Table 4. Empirical Values for the Random Consistency Index

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

The consistency index (CI) of the pairwise comparison matrix was calculated from the ratio between the size of the matrix (n) and its largest eigenvalue (λ_{max}), as shown in Equation 3:

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \tag{3}$$

The decision matrix was then filled in to normalize the values assigned to the compared criteria. The weightings for the criteria were determined through pairwise comparison. A total of (n-1) comparisons are required. As proposed by Macedo et al. 2020 and according to Sánchez-Lozano, García-Cascales, and Lamata (2016), the weights were obtained as shown in Equation 4:

$$(w_{C_{ia}}, w_{C_{ib}}, w_{C_{ic}}) = \left[\frac{C_{ia}}{\sum_{i=1}^n C_{ic}}, \frac{C_{ib}}{\sum_{i=1}^n C_{ib}}, \frac{C_{ic}}{\sum_{i=1}^n C_{ia}} \right] \tag{4}$$

Where: w_{ci} represents the experts' weighting of the criteria I, $i = 1, 2, 3$, and C_i are the pairwise comparisons between the criteria.

The priority vectors for each factor at each level are known as local weights, and the global weights are calculated by multiplying the local weights by factors, subfactors, and sub-subfactors (Alsuwehri, 2011; Hossein, Kang, & Kim, 2015).

From the linguistic terms and their respective fuzzy values, a decision matrix \tilde{D} was constructed (Figure 5). In matrix \tilde{D} , x_{ij} represents the value of alternative A_i with respect to criterion C_j , $W = [w_1, w_2, \dots, w_{10}]$ is the weighting vector associated with the criterion, A_m are the alternatives, and x_{mn} are the values determined by the experts.

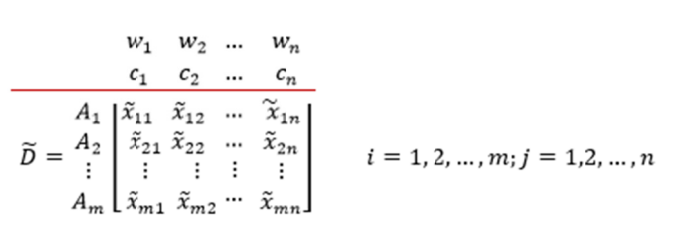


Figure 5. Decision matrix – AHP method

Matrix \tilde{D} was normalized so that the scale would be the same for all criteria (Equation 5). The weightings of the criteria in decision-making problems do not have the same average and not all of them are equally important. The normalized weighted value v_{ij} was calculated using Equation 6.

$$\underline{n}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij})^2}} \quad j = 1, 2, \dots, n; i = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

$$\underline{v}_{ij} = w_{ij} \otimes \underline{n}_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, n; i = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

The positive (PIS, A+) and negative (NIS, A-) fuzzy ideal solutions are determined according to Equation 7 and Equation 8, respectively.

$$A^+ = \{\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_m^+\} \quad (7)$$

$$A^- = \{\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_m^-\} \quad (8)$$

Where: $\tilde{v}_1^+ = (1, 1, 1)$ and $\tilde{v}_1^- = (0, 0, 0)$.

The distances for PIS (D+) and for NIS (D-) were calculated by Equation 9 and Equation 10, respectively.

$$D_i^+ = \sum_{j=1}^n d_v(\underline{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+) \quad (9)$$

$$D_i^- = \sum_{j=1}^n d_v(\underline{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-) \quad (10)$$

Finally, the approximation coefficients CC_i were calculated for each of the alternatives evaluated, according to Equation 11. The CC_i values vary between 0 and 1. The closer to 1, the higher the priority for that alternative. From this, the final ranking of the alternatives was defined from the CC_i values.

$$CC_i = D_i^- / (D_i^+ + D_i^-) \quad (11)$$

With the results obtained, further analysis is presented in the following sections.

3. Results

This section provides an overview of Brazilian public road infrastructure delay factors. Based on the literature and discussions with experts, two levels of delay factors were found that are most responsible for driving delays in public road infrastructure projects and works in Brazil. The two levels were categorized as main factors (criteria) and sub-factors (sub-criteria). These are believed to be the main causes of delays in road infrastructure and construction projects.

3.1 Selection of Road Infrastructure Delay Factors

Based on the literature review and discussions with experts and academics, the information was synthesized, criteria were selected, and a preliminary list of factors was defined. The first level consists of five main factors: principal contractor; designer; manager; materials, manpower, and equipment; and external factors. This list of criteria was designed according to the 473 factors obtained from articles in the literature that focused on road infrastructure delays. From the selected studies, similar factors that had the same meaning were standardized.

In this process, repeated factors were excluded, leaving a total of 220 factors for road infrastructure delays. From the selected studies, factors that had the same meaning were consolidated into a list of 35 factors. However, many of these factors do not fit the reality of Brazilian road projects. Therefore, these factors would need to be filtered according to the requirements of local projects.

It was clear from this literature review that delays are commonly found in transportation infrastructure projects all over the world. Table 5 contains a list of the top ten delay factors based on the frequency of occurrence and their respective groups.

Table 5. Ranking of the top ten delay factors in road infrastructure projects

n°	Factor	Main Group	Source/Author
1.	Delayed payments to the contractor by the owner	Owner	Nasir, Gabriel & Choudhry (2011) Bekr (2015) Honrao & Desai (2015) Tesfa (2016) Alfakhri, Ismail & Khoiry (2018) Al Hadithi (2018)
2.	Poor/ineffective planning and scheduling	Contractor	Rachid, Toufik & Mohammed (2019) Al Hinai, Widyarto & Bhuiyan (2020) Melaku Belay et al. (2021) Danial & Misnan (2022)
3.	Adverse weather conditions	External	Ellis & Thomas (2003) Nasir, Gabriel & Choudhry (2011) Hasan, Suliman & Malki (2014)
4.	Financial difficulties of the contractor	Contractor	Le-Hoai, Lee & Lee (2008) Kaliba, Muya & Mumba (2009) Nasir, Gabriel & Choudhry (2011)
5.	Problems in the land acquisition process	Owner	Wijekoon & Attanayake (2012) Ekanayake & Perera (2016) Pai et al. (2018) Mohajeri Borje Ghaleh et al. (2021)
6.	Unrealistic schedule	Contractor	Alfakhri, Ismail & Khoiry (2018) Lozano Serna et al. (2018)
7.	Inadequate contractor experience	Contractor	Sohu & Chandio (2019) Bekr (2015) Aziz, Abdel-Hakam (2015) Tesfa (2016)
8.	Lack of construction materials on site	Mat./manpower/equip.	Aforla, Woode & Amoah (2016) Lozano Serna et al. (2018) Karunakaran; Malek; Ramli (2019)
9.	Poor site management and supervision	Contractor	Mejia et al. (2020) Le-Hoai, Lee & Lee (2008) Hasan, Suliman & Malki (2014)
10.	Inadequate design	Designer	Vidalis & Najafi (2002) Chileshe & Berko (2010) Tesfa (2016)

Table 5 shows the top ten factors most frequently found in the literature. The main group for these factors was identified according to some researchers such as Le-Hoai, Lee and Lee (2008); Aziz and Abdel-Hakam (2015); and Mahamid, Bruland and Dmaid (2017), who classified delays into main groups.

Most of these studies made use of questionnaires and analytical approaches such as the Importance Index, Frequency Index, and Severity Index. The group related to contractors and the group related to owners were the groups that contained the most delay factors.

The results, with regard to frequency according to the literature, provided insight into the delay factors in road infrastructure.

3.1.1 Selection of Criteria

Based on an evaluation of the local context, a new list of criteria was established for public road projects. The criteria were separated into main groups, and selected and adapted for road infrastructure projects in Brazil.

The contractor; designer; manager; materials, manpower, and equipment; and external factors were seen as the main factors in road infrastructure projects that play central roles in the construction phase of these projects in Brazil.

Taking into account the importance and the control mechanisms of the design and construction phases for road transportation infrastructure, this study considered the first level for structuring the hierarchical model to have five main factors: contractor, designer, manager, materials/manpower/equipment, and external factors.

3.1.2 Selection of Sub-Criteria

Following the selection of the factors from the literature and from discussions with experts, the 24 sub-factors

(or sub-criteria) were defined and related to public road infrastructure projects in Brazil. These 24 were associated with the main groups as follows: five with the principal contractor; five designer; five manager; four materials, manpower, and equipment; and five external factors. Table 6 shows the name of each factor and sub-factor with its abbreviated ID code.

Table 6. Principal delay factors, according to the experts, in public road infrastructure projects and works in Brazil

Objective	Main Factors (Criteria) level 1	Subfactors (Sub-criteria) level 2	ID	Code	
Criteria for selection of variables for the causes of delays in road infrastructure projects	Contractor (C)	Unrealistic schedule	Time	C1	
		Inaccurate project cost estimate	Cost	C2	
		Lack of coordination between construction parties / Poor inspection and/or supervision of contractor / Shortage or lack of qualification of contractor's technical staff / Delay in mobilization of construction site by contractor	Coordination	C3	
		Contractor's cash flow problems	Cash Flow	C4	
		Operation and operating licenses	License	C5	
	Designer (P)	Inadequate experience of the project/design team / Inadequate experience of the consultant/supervisor / Delay in the review and approval of the project/design	Design changes requested by consultants/designers	Alterations	P2
			Design changes during construction	Design	P3
			Change of consultant/designer during project execution	Team Changes	P4
			Use of BIM-related technologies in project design	BIM	P5
			Additional Work / Extra Work / Rework	Work	G1
	Manager (G)	Low knowledge of project documents by staff / Lack of database and little experience planning/managing the project	Physical characteristics/type of project	Characteristics	G3
			Poor communication and coordination between planner/designer	Communication/coordination	G4
			Specification mismatch (non-conformity)	Inconsistency	G5
			Lack of construction materials on-site / Delayed/slow delivery of materials	Material	MME1
	Materials / Manpower / Equipment (MME)	Scarcity of skilled and unskilled labor / Low labor productivity	Lack of equipment	Manpower	MME2
			Frequent equipment breakdowns	Equipment	MME3
			Defects	Equipment	MME4
	External Factors (FE)	Adverse weather conditions	Political situation	Climate	FE1
			Economic instability (currency, inflation, etc.)	Politics	FE2
			Delayed response from utility agencies	Economy	FE3
			Public Service	FE4	
			Environmental and Natural Resource Issues	Environment	FE5

3.2 Multi-Criteria Analyses – AHP

The questionnaire was applied to three experts. SuperDecisions software was used in this study to help structure the problem by performing a pairwise comparison between the criteria and sub-criteria of the same group (or clusters) in order to obtain the priorities mathematically.

The results from the previous step gave rise to a list of criteria and sub-criteria to be hierarchized in order to apply the model.

3.2.1 Experts

The experts consulted for this study were professionals involved in the public sector, academia, and the execution of Brazilian road infrastructure projects. These experts have experience in publicly-bid road infrastructure projects of between 8 and 15 years, making it possible for the discussions to reflect real project scenarios.

The order of importance of the criteria and sub-criteria based on expert assessment is shown in Table 7, according to the criteria and sub-criteria presented earlier in Table 6.

Table 7. Order of importance of the criteria according to experts

Specialist	Order of importance of criteria	Order of importance of sub-criteria
E1	G>FE>C>P>MME	MME2>FE2>P1>G2>C2>C1>P2>G1>MME4>FE4>G5>C3>P4>FE3>C4>G4>C5>G3>P3>MME1=MME3>FE5>P5
E2	C>MME>P>FE>G	G3>C2>MME1>MME4>G4>FE1>C1>P2>FE4>P33>FE3>P1>P5>MME2>FE2>C5>P4>C3>G5>FE5>MME3>C4>G2>G1>
E3	FE>C>G>MME>P	MME2>G2>C5>P5>FE5>P4>FE4>MME3>FE2>C2>C1>C4>P1>G5>P2>P3>FE3>G1=G3=G4>MME1>FE1>C3>MME4

It is important to note that the three experts differ with regard to the order of importance of the criteria, but both experts 1 and 3 pointed out that the lack of manpower sub-criterion, which belongs to the Materials / Manpower / Equipment (MME) criterion, is one of the most important factors in the cause of delays in Brazilian road infrastructure.

The final priority analysis of the order of importance of the criteria and sub-criteria from the experts' evaluation is presented in Table 8.

Table 8. Final priority of criteria and sub-criteria according to the three experts

Specialist	Order of importance of criteria	Order of importance of sub-criteria
E1, E2, E3	FE>C>G>MMR>P	MME2>G2>FE2>C2>P1>C5>P5>C1>FE4>FE5>G3>MME4>P2>P4>MME1>G4>MME3>FE3>FE1>G1>P3>G5>C3>C4

The experts considered the External Factors criterion to be the most important. Among the sub-criteria in this group are: difficulties with adverse weather conditions, political situation, economic instability (currency, inflation, etc.), delay in response from public service agencies, and issues related to the environment and natural resources.

For the choice of sub-criterion, manpower was pointed out as the most important factor for the problem of delay in Brazilian public road infrastructure. The shortage of skilled and unskilled labor and low labor productivity can be reduced with the proper qualification of the professionals who participate in this sector.

Once the decision rule for each scenario was established, the pairwise comparison between the criteria could be performed. The consistency ratio (CR) for each expert, the highest eigenvalues (λ_{max}) found, and the consistency indices of the judgments (CI) are shown in Table 8.

Table 9. Consistency ratios of the criteria matrices.

Dimension	E1				E2				E3			
	CR	λ_{max}	CI		CR	λ_{max}	CI		CR	λ_{max}	CI	
Contractor	0.0927				0.029				0.029			
Designer	0.012				0.015				0.012			
Manager	0.001				0.000				0.000			
Materials/ Manpower/ Equipment		0.058	5.25	0.06	0.008	0.058	5.43	0.05	0.008	0.05	5.28	0.06
External Factors	0.047				0.048				0.051			

3.2.2 Analysis After Adjusting the Sub-Criteria Because of Data Inconsistency

After organizing the criteria hierarchically, the vectors were obtained from the priority and consistency evaluation for the criteria and sub-criteria using the AHP method. In the comparison matrix for the five groups, inconsistencies were present, with some values greater than 0.1. In this case, the questionnaire needs to be revised, since, as Saaty (1980) suggests, inconsistency rates higher than 0.1 are considered unacceptable. One of the possible causes for this result may have been the large number of sub-criteria, which could have been confusing to the experts. The solution adopted was to reduce the number of variables.

A new selection of sub-criteria was performed, which were distributed as follows: three for main contractor; three manager; three materials, manpower, and equipment; and three external factors, as shown in Table 10.

Table 10. Revised delay factors related to highway infrastructure projects

Objective	Main Factors (Criteria) level 1	Subfactors (Sub-criteria) level 2	ID	Code	
Criteria for selection of variables for the causes of delays in road infrastructure projects	Contractor (C)	Unrealistic schedule	Time	C1	
		Inaccurate project cost estimate	Cost	C2	
		Lack of coordination between construction parties / Poor inspection and/or supervision of contractor / Shortage or lack of qualification of contractor's technical staff / Delay in mobilization of construction site by contractor	Coordination	C3	
	Designer (P)	Inadequate experience of the project/design team / Inadequate experience of the consultant/supervisor / Delay in the review and approval of the project/design	Design changes during construction	Experience	P1
			Use of BIM-related technologies in project design	Design	P3
			Use of BIM-related technologies in project design	BIM	P5
	Manager (G)	Additional Work / Extra Work / Rework Low knowledge of project documents by staff / Lack of database and little experience planning/managing the project	Physical characteristics/type of project	Work	G1
			Lack of construction materials on-site / Delayed/slow delivery of materials	Planning	G2
			Scarcity of skilled and unskilled labor / Low labor productivity	Characteristics	G3
	Materials / Manpower / Equipment (MME)	Lack of construction materials on-site / Delayed/slow delivery of materials Scarcity of skilled and unskilled labor / Low labor productivity Lack of equipment	Lack of construction materials on-site / Delayed/slow delivery of materials	Material	MME1
			Scarcity of skilled and unskilled labor / Low labor productivity	Manpower	MME2
			Lack of equipment	Equipment	MME3
	External Factors (FE)	Adverse weather conditions Political situation Economic instability (currency, inflation, etc.)	Adverse weather conditions	Climate	FE1
			Political situation	Politics	FE2
			Economic instability (currency, inflation, etc.)	Economy	FE3

A new evaluation was performed using Superdecisions. Because the CR values are less than 0.10 for all experts, the estimated values of the sub-criteria are confirmed to be consistent. By performing another factor selection, new weightings were assigned to the criteria and sub-criteria, based on the expert evaluation of the importance of the evaluated items.

In order to unify the weightings for the obtained criteria and sub-criteria, a homogeneous aggregation was performed. In other words, all experts were considered equally important in the decision. The arithmetic mean was used as an aggregation measure. The criteria and sub-criteria weightings obtained from the homogeneous aggregation are shown in Table 11.

Table 11. Criteria weightings obtained from homogeneous aggregation

Dimension	E1/E2/E3	Sub-criterion	E1/E2/E3
Contractor	0.41638	C1	0.29686
		C2	0.6175
		C3	0.08563
Designer	0.04723	P1	0.33252
		P3	0.13965
		P5	0.52784
Manager	0.15950	G1	0.13501
		G2	0.58416
		G3	0.28083
Materials/Manpower/Equipment	0.16778	MME1	0.73064
		MME2	0.18839
		MME3	0.08096
External Factors	0.20911	FE1	0.74705
		FE2	0.11939
		FE3	0.13356

For this new final priority analysis of the experts' results, the order of importance of the criteria and sub-criteria is presented in Table 8. The order of importance, according to the specialists, was: Contractor>External Factors, Materials, Manpower, and Equipment>Manager>Designer. The indices, in order, were: 0.41638, 0.20911, 0.16778, 0.15950, and 0.04723, respectively.

A new order of importance for the criteria and sub-criteria, based on the experts' evaluations was determined, and this is presented in Table 11, using the same criteria and sub-criteria previously presented in Table 9.

Table 12. New final priority order of importance of the criteria and sub-criteria, according to the three experts

Specialist	Order of importance of the criteria	Order of importance of the sub-criteria
E1, E2, E3	C>FE>MME>G>P	FE1>MME1>C2>G2>P3>P1>C1>G3>MME2>P2>G1>FE3>FE2>C3>MME3

The criterion most responsible for the problem of delay is that related to the Contractor. With regard to sub-criteria, climate, specifically adverse weather conditions, is one of the most important factors in causing delays in Brazilian road infrastructure.

3.2.3 Discussion on the Importance of the Sub-Criteria Within Their Groups

Discussions were realized based on the final priority order of importance of the sub-criteria, as shown in Table 11, and the respective weightings, shown in Table 10.

For the sub-factors related to the Principal Contractor, the classification obtained was: Cost>Time>Coordination. This result reveals that the Cost delay factor, inaccurate project cost estimation, had the highest importance. This result agrees with Honrao Desai (2015) and Tesfa (2016), whose studies were carried out in the contexts of India/Bahrain and Ethiopia.

One point that can be highlighted is that delay directly impacts costs (Karunakaran, Malek, & Ramli, 2019). In Odeck's (2004) study, using data from Norwegian road construction projects over the years 1992–1995, the discrepancy between estimated and actual cost was found to have an average of 7.9%, ranging from 5.9% to 183%. Kassa (2020) estimated that approximately 80% of road construction projects exceed the estimated completion cost. Delays will cause negative impacts on both the contractor and the contractees (Thapanont, Santi, & Pruethipong, 2018), which, in this scenario, could be the manager or the designer. However, inaccurate estimates may be a sign of poor management with poor communication and/or coordination between the planner/designer.

For the sub-factors related to External Factors, the classification determined was: Weather>Economics>Politics. Climate, specifically adverse weather conditions, was the most important within this group. This is because road project activities are more exposed to the weather than other construction projects, dealing with extreme temperatures and flooding rains, among others. This result agrees with the study conducted by Siddiqui & Faheem (2021).

For the factors related to Materials, Manpower, and Equipment, the classification was:

Material>Manpower>Equipment. Material was considered the most important factor. Lack of construction materials on site, and delayed or slow delivery of materials, were seen in studies investigating the causes of delays in road construction projects (Purushothaman & Kumar, 2022).

Mejia et al. (2020) pointed out, with regard to materials issues, that an effective supply chain management strategy will be integrated early in the project life cycle, will properly define the suppliers and materials needed, and will properly plan for procurement, transportation, storage, and access to construction materials (Eriksson, 2015; Khair et al., 2017; Oyegoke & Al Kiyumi, 2017).

For the factors related to the Manager, the classification obtained was: Planning>Characteristics>Work. Planning was considered to be the most important. Insufficient knowledge of project documents by the team, lack of a database, and limited experience in project planning and management are the factors that cause the most delay for managers and professionals. A point that can be highlighted is that the problem of inadequately qualified professionals can be reduced through appropriate training of the managers, which can improve planning and reduce deficiencies.

Regarding the factors related to the Designer, the classification obtained was: BIM>Experience>Design. BIM was the most important, because the use of BIM-related technologies in the preparation of projects can assist in resolving project planning problems, design problems, and defining project characteristics (Costin et al., 2018). To reduce delay, the use of Building Information Modeling technologies to check interference between underground utility lines (Sanchez-Rivera et al., 2017; Costin et al., 2018) and to support planning activities can be highlighted.

In this way, it is possible to see several factors (criteria or sub-criteria) in the AHP method that influence delay in road projects. Pairwise comparisons are performed between the factors to determine the weight and decision-making priority of each problem. The results for the AHP can therefore assist managers in selecting a better solution. The AHP can be used to process uncertain or subjective data and to develop a hierarchical structure based on logical relationships. This structure makes it possible for managers to understand the relationships between each relevant factor, which enables the analysis of additional criteria and the calculation of factor weightings.

4. Discussion

The use of the AHP method, as a tool to identify and prioritize delay factors, can make this process more efficient, rational, and clear for public road infrastructure projects in Brazil. Due to the significance of delays, it is necessary to investigate and analyze the factors that cause them. Although delay cannot be completely avoided, it can be reduced with the necessary precautions.

The hierarchization of the causes of delay provides a mathematical basis to assist in decision-making, reduce associated errors, and improve the overall process. There are several causes or delay factors that have been identified by project management researchers related to highway construction. However, these are characterized in local contexts.

The results of this study show that, in the perception of experts, the Contractor criterion is the most significant in causing delays in Brazilian public road infrastructure projects, followed by External Factors; Materials, Manpower, and Equipment; Manager; and Designer.

The most significant causes of delay that were identified are related to the factors of inaccurate project cost estimation; adverse weather conditions; lack of construction materials on site, late and slow delivery of materials; inadequate knowledge of project documents by the team, lack of a database, and limited experience in project planning and management; and the use of BIM-related technologies in project design.

In this study, the causes of delays in road infrastructure projects were presented based on a literature review, and these causes were identified and prioritized using the AHP method. The framework discussed the delays in the Brazilian public road infrastructure system from the point of view of management, with the AHP method serving as a tool to analyze the experts' answers and decrease the resulting inconsistency rate.

With so many factors attributed to the causes of delay in infrastructure projects, it is necessary to determine those that are most responsible for the delay in project completion. These factors may be responsible for the overall success or failure of this type of project.

In this study, the factors can be mitigated with actions that include the non-acceptance in the bidding process of incomplete projects, which generate erroneous impacts on the estimation of quantities, reflected in the planning. Another recommendation is to invest in the qualification of managers and professionals involved, with better

systems and the use of technologies, methodologies, and techniques to reduce the deadline for public works.

In this study, the factors can be mitigated with actions that include the non-acceptance of incomplete projects in the bidding process, which generate errors in the estimation of quantities, which affects the planning. Another recommendation is to invest in the qualification of the managers and professionals involved, with better systems and with the use of technologies, methodologies, and techniques that help public projects meet their deadlines.

As suggestions for future studies, it is recommended that emerging technologies be used to solve these factors through machine learning, with the implementation of prediction models. Another suggestion would be the use of BIM to help minimize errors at various stages of development and replace manual "paper-based" processes with digitized workflows from start to finish, using information from intelligent three-dimensional models.

Acknowledgments

The authors would like to thank the Polytechnic School of Engineering and the Civil Engineering Master's Program at the University of Pernambuco for their financial support and for providing the infrastructure for the development, translation, and publication of the article. The authors would also like to thank Simeon Kohlman Rabbani for his meticulous and dedicated translation work.

References

- Acidentes de Trânsito no Brasil., Brasília, DF, 2018.
- Aforla, B., Woode, A., & Amoah, D. (2016). Causes of delays in highway construction projects in Ghana. *Civil and Environmental Research*, 8(11), 69–76.
- Al Hinai, S., Bhuiyan, A., & Widyarto, S. (2020). The empirical review of critical success factors on the causes of delay in road constructions projects in the gcc countries. *Australian Finance & Banking Review*, 4(2), 15–36. <https://doi.org/10.46281/afbr.v4i2.920>
- Al-Hadithi, B. I. (2018). *An investigation into factors causing delays in highway construction projects in Iraq*. MATEC Web of Conferences. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201816202035>.
- Alamgir, M. et al. (2017). Economic, socio-political and environmental risks of road development in the tropics. *Current Biology*, 27(20), R1130–R1140. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.08.067>
- Alinaitwe, H., Apolot, R., & Tindiwensi, D. (2013). Investigation into the causes of delays and cost overruns in Uganda's public sector construction projects. *Journal of Construction in Developing Countries*, 18(2), 33.
- Alsuwehri, Y. (2011). *Supplier Evaluation and Selection by Using the Analytic Hierarchy Process Approach*. Engineering Management Field Project, Master's of Science, University of Kansas.
- Amoatey, C., & Ankrah, A. (2017). Exploring critical road project delay factors in Ghana. *Journal of Facilities Management*. <https://doi.org/10.1108/JFM-09-2016-0036>
- Asadabadi, M. R., Chang, E., & Saberi, M. (2019). Are MCDM methods useful? A critical review of analytic hierarchy process (AHP) and analytic network process (ANP). *Cogent Engineering*, 6(1), 1623153. <https://doi.org/10.1080/23311916.2019.1623153>
- Aziz, R., & Abdel-Hakam, A. (2016). Exploring delay causes of road construction projects in Egypt. *Alexandria Engineering Journal*, 55(2), 1515–1539. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.03.006>
- Bagaya, O., & Song, J. (2016). Empirical study of factors influencing schedule delays of public construction projects in Burkina Faso. *Journal of Management in Engineering*, 32(5), 05016014. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000443](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000443)
- Bekr, G. A. (2015). Causes of delay in public construction projects in Iraq. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 9(2).
- Bounthipphasert, S. et al. (2020). Causes of delays in road construction projects in Laos. *Global Journal of Researches in Engineering: ECivil And Structural Engineering*, 20(3). <https://doi.org/10.34257/GJREEVOL20IS3PG19>
- Cabahug, R. et al. (2018). Factors Influencing the Delay of Road Construction Projects in Northern Mindanao, Philippines. *Mindanao Journal of Science and Technology*, 16(1).
- Cavana, R., Delahaye, B., & Sekeran, U. (2001). *Applied business research: Qualitative and quantitative methods*. John Wiley & Sons.
- Chileshe, N., & Berko, P. D. (2010). *Causes of project cost overruns within*. Proceedings 51" Built Environment

Conference.

- Confederacao Nacional Dos Municipios (CNM). (2018). *Mapeamento das Mortes por Acidentes de Trânsito no Brasil*. Brasília, DF.
- Costin, A. et al. (2018). Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure—Literature review, applications, challenges, and recommendations. *Automation in Construction*, *94*, 257–281. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.001>
- Danial, N., & Misnan, M. S. (2022). Possession of Site: Another Layer of Complexity in Road Construction. *Sustainability*, *14*(11), 6809. <https://doi.org/10.3390/su14116809>.
- DNIT. (2021). *Relatório de Gestão do Exercício de 2021*. Brasília, Distrito Federal. Retrieved August 28, 2022, from https://www.gov.br/dnit/pt-br/aceso-a-informacao/auditorias-antiga/relatorio-de-gestao/copy_of_RelatriodeGesto2021.pdf
- Elawi, G., Algahtany, M., & Kashiwagi, D. (2016). Owners' perspective of factors contributing to project delay: case studies of road and bridge projects in Saudi Arabia. *Procedia Engineering*, *145*, 1402–1409. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.176>
- Ellis, R. D., & Thomas, H. R. (2003). *The root causes of delays in highway construction*. Presentation at the 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board.
- Eriksson, P. E., Larsson, J., & Pesamaa, O. (2017). Managing complex projects in the infrastructure sector—A structural equation model for flexibility-focused project management. *International Journal of Project Management*, *35*(8), 1512–1523. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.08.015>
- Ezeldin, A., & Abdel-Ghany, M. (2013). *Causes of construction delays for engineering projects: An Egyptian perspective*. AEI 2013: Building solutions for architectural engineering. <https://doi.org/10.1061/9780784412909.006>
- Hasan, R., Suliman, S. M., & Malki, Y. A. (2014). An investigation into the delays in road projects in Bahrain. *International Journal of Research in Engineering and Science*, *2*(2), 38–47.
- Honrao, Y., & Desai, D. (2015). Study of delay in execution of infrastructure projects-highway construction. *International Journal of Scientific and Research Publications*, *5*(6), 1–8.
- Hossen, M., Kang, S., & Kim, J. (2015). Construction schedule delay risk assessment by using combined ahp-rii methodology for an international npp project. *Nuclear Engineering and Technology*, *47*(3), 362–379. <https://doi.org/10.1016/j.net.2014.12.019>
- Islam, M. et al. (2015). *Causes of delay in construction projects in Bangladesh*. The 6th International Conference on Construction Engineering and Project Management, Busan, Korea.
- Kaliba, C., Muya, M., & Mumba, K. (2009). Cost escalation and schedule delays in road construction projects in Zambia. *International Journal of Project Management*, *27*(5), 522–531. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2008.07.003>
- Kamanga, M. J., & Vdmsteyn, W. J. (2013). Causes of delay in road construction projects in Malawi. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering. Joernaal van die Suid-Afrikaanse Instituut van Siviele Ingenieurswese*, *55*(3), 79–85.
- Karunakaran, S., Malek, M. A., & Ramli, M. Z. (2019). Causes of delay in construction of highway projects: a review. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, *10*(2), 2374–2386.
- Kassa, Y. (2020). Determinants of infrastructure project delays and cost escalations: the cases of federal road and railway construction projects in Ethiopia. *American Academic Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences*, *63*(1), 102–136.
- Khademi, N. et al. (2012). An algorithm for the analytic network process (ANP) structure design. *Journal of Multi - Criteria Decision Analysis*, *19*, 33–55. <https://doi.org/10.1002/mcda.485>
- Khair, K. et al. (2018). A management framework to reduce delays in road construction projects in Sudan. *Arabian Journal for Science and Engineering*, *43*, 1925–1940. <https://doi.org/10.1007/s13369-017-2806-6>
- Le-Hoai, L., Lee, Y., & Lee, J. Y. (2008). Delay and cost overruns in Vietnam large construction projects: A comparison with other selected countries. *KSCE Journal of Civil Engineering*, *12*, 367–377. <https://doi.org/10.1007/s12205-008-0367-7>

- Lin, C., Fan, C., & Chen, B. (2022). Hybrid Analytic Hierarchy Process—Artificial Neural Network Model for Predicting the Major Risks and Quality of Taiwanese Construction Projects. *Applied Sciences*, *12*, 7790. <https://doi.org/10.3390/app12157790>
- Lozano Serna, S. et al. (2018). Identificación de factores que generan diferencias de tiempo y costos en proyectos de construcción en Colombia. *Ingeniería y ciencia*, *14*, 117–151. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.14.27.6>
- Macedo, M. R. O. B. C., Maia, M. L. A., Kohlman Rabbani, E. R., & Lima Neto, O. C. C. (2020). Remote Sensing Applied to the Extraction of road geometric features based on OPF classifiers, Northeastern Brazil. *Journal of Geographic Information System*, *12*, 15–44. <https://doi.org/10.4236/jgis.2020.121002>
- Macedo, M. R. O. C., Macedo, M. H. C., Marinho, M. H. da N., & Kohlman Rabbani, E. R. (2021). Selection of Potential Sites for Sustainable Development of Solar Photovoltaic Plants in Northeastern Brazil Using GIS and Multi-Criteria Analysis. *J. Mgmt. & Sustainability*, *11*, 147. <https://doi.org/10.5539/jms.v11n1p147>
- Mahamid, I. (2017). Schedule delay in Saudi Arabia road construction projects: size, estimate, determinants and effects. *International Journal of Architecture, Engineering and Construction*, *6*, 51–58. <https://doi.org/10.7492/IJAEC.2017.017>
- Mahamid, I., Bruland, A., & Dmaid, N. (2012). Causes of delay in road construction projects. *Journal of Management in Engineering*, *28*, 300–310. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000096](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000096)
- Mejia, G. et al. (2020). Delay causes in road infrastructure projects in developing countries. *Revista de la Construcción*, *19*, 220–234. <https://doi.org/10.7764/rdlc.19.2.220-234>
- Melaku Belay, S. et al. (2021). Analysis of cost overrun and schedule delays of infrastructure projects in low income economies: case studies in Ethiopia. *Advances in Civil Engineering*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/4991204>
- Mohajeri Borje Ghaleh, R. et al. (2021). Delays in the road construction projects from risk management perspective. *Infrastructures*, *6*, 135. <https://doi.org/10.3390/infrastructures6090135>
- Mpofu, B. et al. (2017). Profiling causative factors leading to construction project delays in the United Arab Emirates. *Engineering, Construction and Architectural Management*. <https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2020-0358>
- Nasir, A., Gabriel, H., & Choudhry, R. (2011). *Cost and time overruns in highway projects of Pakistan*. 6th International Conference on Construction in the 21st Century, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Negesa, A. B. (2022). Assessing the Causes of Time Overrun in Building and Road Construction Projects: The Case of Addis Ababa City, Ethiopia. *Journal of Engineering*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4044604>
- Noulmanee, A. et al. (1999). Internal causes of delays in highway construction projects in Thailand. *International Journal of Project Management*, *17*, 149–159.
- Odeck, J. (2004). Cost overruns in road construction—what are their sizes and determinants? *Transport Policy*, *11*, 43–53. [https://doi.org/10.1016/S0967-070X\(03\)00017-9](https://doi.org/10.1016/S0967-070X(03)00017-9)
- Ondari, P., & Gekara, J. (2013). Factors influencing successful completion of roads projects in Kenya. *International Journal of Social Sciences and Entrepreneurship*, *1*(6), 26–48.
- Oyegoke, A., & Al Kiyumi, N. (2017). The causes, impacts and mitigations of delay in megaprojects in the Sultanate of Oman. *Journal of Financial Management of Property and Construction*, *22*, 286–302. <https://doi.org/10.1108/JFMPC-11-2016-0052>
- Pai, S. et al. (2018). Identification of risks causing time and cost overrun in roads and highway projects in India. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, *9*, 683–697.
- Park, J. E. (2021). Schedule delays of major projects: what should we do about it? *Transport Reviews*, *41*, 814–832. <https://doi.org/10.1080/01441647.2021.1915897>
- Patil, S. K. et al. (2013). Causes of delay in Indian transportation infrastructure projects. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, *2*, 71–80. <https://doi.org/10.15623/ijret.2013.0211013>
- Phuangpornpitak, N., & Tia, S. (2013). Opportunities and challenges of integrating renewable energy in smart grid system. *Energy Procedia*, *34*, 282–290. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.06.756>
- Purushothaman, M. B., & Kumar, S. (2022). Environment, resources, and surroundings based dynamic project schedule model for the road construction industry in New Zealand. *Smart and Sustainable Built*

- Environment*, 11, 294–312. <https://doi.org/10.1108/SASBE-08-2021-0145>
- Rabbani, S., & Rabbani, S. (1996). *Decisions in transportation with the analytic hierarchy process*. UFPB/CCT.
- Rachid, Z., Toufik, B., & Mohammed, B. (2019). Causes of schedule delays in construction projects in Algeria. *International Journal of Construction Management*, 19, 371–381. <https://doi.org/10.1080/15623599.2018.1435234>
- Razi, P. Z., Ali, M. I., & Ramli, N. I. (2019). AHP-based analysis of the risk assessment delay case study of public road construction project: an empirical study. *Journal of Engineering Science and Technology*, 14, 875–891.
- Rivera, L., Baguec Jr, H., & Yeom, C. (2020). A study on causes of delay in road construction projects across 25 developing countries. *Infrastructures*, 5, 84. <https://doi.org/10.3390/infrastructures5100084>
- Rudeli, N. et al. (2018). *Causas de Retrasos en Proyectos de Construcción: Un análisis cualitativo*. Universidad de Montevideo. Memoria Investigaciones en Ingeniería.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority, Setting and Resource Allocation*. McGraw-Hill, Inc.
- Saaty, T. L. (2003). Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary. *European Journal of Operational Research*, 145, 85–91. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00227-8](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00227-8).
- Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2012). The possibility of group choice: pairwise comparisons and merging functions. *Social Choice and Welfare*, 38, 481–496. <https://doi.org/10.1007/s00355-011-0541-6>
- Sanchez-Lozano, J. M., Garcia-Cascales, M. S., & Lamata, M. T. (2016). GIS-based onshore wind farm site selection using Fuzzy Multi-Criteria Decision Making methods. Evaluating the case of Southeastern Spain. *Applied Energy*, 171, 86–102. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.03.030>
- Sanchez-Rivera, O. et al. (2017). BIM 5D models and Lean Construction for planning work activities in reinforced concrete bridges. *Revista Facultad de Ingeniería*, 26, 39–50. <https://doi.org/10.19053/01211129.v26.n46.2017.7314>
- Sanni-Anibire, M., Mohamad Zin, R., & Olatunji, S. (2021). Developing a preliminary cost estimation model for tall buildings based on machine learning. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 16, 134–142. <https://doi.org/10.1080/17509653.2021.1905568>
- Santoso, D., & Soeng, S. (2016). Analyzing delays of road construction projects in Cambodia: Causes and effects. *Journal of Management in Engineering*, 32, 05016020. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000467](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000467)
- Senouci, A., Ismail, A., & Eldin, N. (2016). Time delay and cost overrun in Qatari public construction projects. *Procedia Engineering*, 164, 368–375. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.632>
- Siddiqui, M., & Faheem, M. (2021). A Review on Schedule Delays in Infrastructure Projects. *International Journal of Innovative Research in Technology*, 7, 237–243.
- Sohu, S., & Chandio, A. (2019). Identification of causes and minimization of delays in highway projects of Pakistan. *Mehran University Research Journal of Engineering & Technology*, 38, 103–112. <https://doi.org/10.22581/muet1982.1901.09>
- Stevic, Ž. et al. (2022). Assessment of Causes of Delays in the Road Construction Projects in the Benin Republic Using Fuzzy PIPRECIA Method. *Mathematical Problems in Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2022/5323543>
- Subedi, D., & Joshi, B. (2020). Identification of causes of delay in road projects: Cases in Gandaki Province, Nepal. *Saudi J. Eng. Technol*, 5, 231–243. <https://doi.org/10.36348/sjet.2020.v05i05.004>
- Tavassolirizi, M. et al. (2020). Factors affecting delays in rail transportation projects using Analytic Network Process: The case of Iran. *International Journal of Construction Management*, 1–12. <https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1819946>
- Tesfa, S. Y. (2016). Analysis of factors contributing to time overruns on road construction projects under Addis Ababa City Administration. *International Journal of Science and Research*, 5, 2181–2187. <https://doi.org/10.21275/v5i7.ART2016615>
- Thapanont, P., Santi, C., & Pruethipong, X. (2018). *Causes of delay on highway construction projects in Thailand*. MATEC Web of Conferences. EDP Sciences, 02014.

<https://doi.org/10.1051/mateconf/201819202014>

- Thome, A., Scavarda, L., & Scavarda, A. (2016). Conducting systematic literature review in operations management. *Production Planning & Control*, 27, 408–420. <https://doi.org/10.1080/09537287.2015.1129464>
- Vidalis, S., & Najafi, F. (2002). Cost and time overruns in highway construction (pp. 2799–2808). Canadian Society for Civil Engineering-30th Annual Conference: 2002 Challenges Ahead.
- Williams, T. (2003). Assessing extension of time delays on major projects. *International Journal of Project Management*, 21(1), 19–26. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(01\)00060-6](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(01)00060-6)
- Wijekoon, S., & Attanayake, A. (2012). *Study on the cost overruns in road construction projects in Sri Lanka*. ICSBE-2012: International Conference on Sustainable Built Environment.
- Yap, J. et al. (2021). Revisiting critical delay factors for construction: Analysing projects in Malaysia. *Alexandria Engineering Journal*, 60, 1717–1729. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.11.021>.
- Zidane, Y., & Andersen, B. (2018). The top 10 universal delay factors in construction projects. *International Journal of Managing Projects in Business*. <https://doi.org/10.1108/IJMPB-05-2017-0052>.

Copyrights

Copyright for this article is retained by the author, with first publication rights granted to the journal.

This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).