UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

SIERGBERTH UGULINO NETO

ESTIMATIVA REGIONAL DE CUSTOS PARA PONTES EM PEQUENOS RIOS NA AMAZÔNIA: APLICAÇÃO AO PROJETO ECOPONTES

TUCURUÍ

2026

SIERGBERTH UGULINO NETO

ESTIMATIVA REGIONAL DE CUSTOS PARA PONTES EM PEQUENOS RIOS NA AMAZÔNIA: APLICAÇÃO AO PROJETO ECOPONTES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Davi Edson Sales e Souza

Coorientador: Prof. Dr. André Luiz Amarante Mesquita.

TUCURUÍ

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

N469e Neto, Siergberth Ugulino.
ESTIMATIVA REGIONAL DE CUSTOS PARA PONTES EM PEQUENOS RIOS NA AMAZÔNIA: APLICAÇÃO AO PROJETO ECOPONTES / Siergberth Ugulino Neto. — 2026.
26 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Davi Edson Sales E Souza
Coorientador(a): Prof. Dr. André Luiz Amarante Mesquita
Trabalho de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Tucuruí, Faculdade de Engenharia Mecânica, Tucuruí, 2026.

1. Pontes em concreto. 2. Estimativa de custos. 3. Licitações públicas. 4. Índice regional. 5. Amazônia. I. Título.

CDD 620.0072

SIERGBERTH UGULINO NETO

ESTIMATIVA REGIONAL DE CUSTOS PARA PONTES EM PEQUENOS RIOS NA AMAZÔNIA: APLICAÇÃO AO PROJETO ECOPONTES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica, do Campus Universitário de Tucuruí, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Data da aprovação: 21/07/2026

Conceito: Bom

BANCA EXAMINADORA

gov.br Documento assinado digitalmente
DAVI EDSON SALES E SOUZA
Data: 29/07/2026 14:03:44-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Davi Edson Sales e Souza – Orientador
FAESA/CAMTUC/UFPA

gov.br Documento assinado digitalmente
ANDRE LUIZ AMARANTE MESQUITA
Data: 29/07/2026 16:39:11-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. André Luiz Amarante Mesquita - Coorientador
NDAE/CAMTUC/UFPA

gov.br Documento assinado digitalmente
JESSE LUIS PADILHA
Data: 29/07/2026 15:28:19-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Jessé Luís Padilha – Membro interno
NDAE/FEM/UFPA

AGRADECIMENTOS

Meus primeiros agradecimentos são direcionados a Deus, pela dádiva da vida e por todas as oportunidades que tive ao longo desse percurso, peço para que Ele continue iluminando meus caminhos.

À minha família, meu porto seguro, agradeço pelo suporte incondicional. Minha mãe, Lidiane Cristina, foi minha maior incentivadora, erguendo-me nos momentos de fraqueza e renovando minhas forças. Meu pai, Siergberth U. Segundo, sempre esteve presente, abençoando minha trajetória com seu carinho. E meus avós, Siergbeth Ugulino e Leda Cavalcante, que, mesmo sem compreenderem totalmente os detalhes da minha rotina acadêmica, foram fontes inesgotáveis de afeto, acolhimento e encorajamento durante toda a graduação.

Não posso deixar de mencionar minha companheira, Lívia Braga, cuja parceria, paciência e incentivo foram fundamentais para que eu chegasse até aqui. Aos amigos e colegas de faculdade, agradeço por transformarem essa caminhada em uma experiência mais leve e prazerosa. Em especial, ao Felippe Silva, Luan Xavier, Ryan, Isael Lopes e Heliardo Demetrio, por cada discussão acalorada, madrugadas de estudo e momentos de descontração compartilhados – vocês tornaram tudo mais especial e inesquecível.

Sou grato também aos mestres que me inspiraram e guiaram, Eng. Allan Junior, Dr. Arthur Fontana, Dr Jessé Luís e Me. Danilo Silva, pelos conselhos valiosos e pela confiança depositada em mim.

Expresso minha profunda gratidão a todos os docentes e servidores da UFPA, pela receptividade, dedicação e pela excelência no ensino que levarei para sempre comigo. Os laboratórios FluidPar e LABEM foram essenciais para minha formação, proporcionando não apenas aprendizado prático, mas também um ambiente acolhedor que me integrou definitivamente ao curso e me presenteou com grandes amizades.

Um agradecimento muito especial ao meu orientador, Davi Sales, pela confiança em meu potencial, pelos sábios conselhos e por todas as portas que abriu para o meu crescimento. Ao meu coorientador, André Mesquita, sou grato pela generosidade em compartilhar seu conhecimento e pelas inúmeras oportunidades que me concedeu ao longo dessa jornada.

Agradeço ao CNPq pela bolsa de iniciação científica, que viabilizou a realização deste trabalho de conclusão de curso, e a toda a equipe do projeto "Sistemas Híbridos de Geração e Armazenamento de Energias Renováveis na Amazônia" - nas pessoas do Prof. André Mesquita, Prof. Davi Sales, Prof. Claudio Blanco, Rodolfo Vitorino e Rômulo Luís - pelas contribuições enriquecedoras e pelo suporte mútuo.

Por fim, encerro com um sincero muito obrigado a todos que, direta ou indiretamente, cruzaram meu caminho e contribuíram, de alguma forma, para esta conquista. Minha eterna gratidão a cada um de vocês!

RESUMO

A estimativa preliminar de custos constitui uma etapa fundamental no planejamento de obras de infraestrutura, especialmente na Amazônia, onde as condições logísticas e construtivas dificultam a elaboração de orçamentos detalhados nas fases iniciais dos empreendimentos. Nesse contexto, este trabalho, desenvolvido no âmbito do Projeto EcoPontes, teve como objetivo desenvolver uma metodologia para estimativa regional de custos de pontes em concreto, fundamentada na análise de dados de licitações públicas realizadas no Estado do Pará. A metodologia baseou-se na construção de uma base de dados composta por 71 licitações públicas, totalizando 167 pontes em concreto executadas entre 2018 e 2024, a partir das quais foi determinado um índice empírico regional de R$ 8.968,06/m³ de concreto. O índice foi aplicado ao estudo de caso do córrego Água Preta, localizado no município de Goianésia do Pará, resultando em um custo estimado de R$ 654.796,18 para implantação da ponte em concreto. Os resultados demonstraram que a metodologia proposta constitui uma ferramenta simples, baseada em dados reais e adequada para estudos de concepção e pré-viabilidade, permitindo estimativas preliminares de custos compatíveis com as condições construtivas da região amazônica. Adicionalmente, o índice regional desenvolvido poderá subsidiar pesquisas futuras relacionadas à integração entre infraestrutura viária e microgeração hidrelétrica no âmbito do Projeto EcoPontes, ampliando seu potencial de aplicação em estudos técnico-econômicos.

Palavras-chave: Pontes em concreto. Estimativa de custos. Licitações públicas. Índice regional. Amazônia.

ABSTRACT

The preliminary cost estimate constitutes a fundamental stage in the planning of infrastructure works, especially in the Amazon, where logistical and construction conditions hinder the preparation of detailed budgets in the initial phases of projects. In this context, this work, developed under the EcoPontes Project, aimed to develop a methodology for regional cost estimation of concrete bridges, based on the analysis of data from public tenders conducted in the State of Pará. The methodology was based on the construction of a database composed of 71 public bids, totaling 167 concrete bridges executed between 2018 and 2024, from which a regional empirical index of R$ 8,968.06/m³ of concrete was determined. The index was applied to the case study of the Água Preta stream, located in the municipality of Goianésia do Pará, resulting in an estimated cost of R$ 654,796.18 for the implementation of the concrete bridge. The results demonstrated that the proposed methodology constitutes a simple tool, based on real data and suitable for design and pre-feasibility studies, allowing preliminary cost estimates compatible with the construction conditions of the Amazon region. Additionally, the developed regional index may support future research related to the integration between road infrastructure and micro-hydroelectric generation within the scope of the EcoPontes Project, expanding its potential application in techno-economic studies.

Keywords: Concrete bridges. Cost estimation. Public tenders. Regional index. Amazon.

SUMÁRIO

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS 6
1.1 OBJETIVOS 7
1.1.1 Geral 7
1.1.2 Específicos 7
2 APRESENTAÇÃO DO ARTIGO CIENTÍFICO 8
RESUMO 9
ABSTRACT 9
1 INTRODUÇÃO 10
2 REFERENCIAL TEÓRICO 11
2.1 Desafios na estimativa de custos de obras civis 11
2.2 Infraestrutura de transporte e o contexto do Projeto EcoPontes 11
2.3 Viabilidade econômica de pontes 12
3 MÉTODO 15
3.1 Índice regional e custo final de pontes em concreto 15
3.1.1 Construção da Base de dados 15
3.1.2 Determinação de índice empírico de custo estrutural de pontes convencionais em concreto 15
3.1.3 Estimativa preliminar de custos final de pontes em concreto 16
3.2 Estudo de caso 16
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 17
4.1 Base de dados de pontes convencionais 17
4.2 Índice empírico de custo estrutural 18
4.3 Estimativa de custos de pontes em concreto 19
4.4 Aplicação da metodologia ao estudo de caso 20
5 Conclusão 21
6 Referências 22

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O desenvolvimento da infraestrutura em regiões remotas da Amazônia exige soluções capazes de promover a mobilidade, a integração territorial e o desenvolvimento socioeconômico das comunidades. Nesse contexto, a construção de pontes em concreto representa um investimento estratégico, por garantir o deslocamento de pessoas, o escoamento da produção e o acesso a serviços essenciais. Entretanto, as particularidades geográficas, logísticas e construtivas da região amazônica tornam a estimativa de custos dessas obras um desafio, especialmente nas fases iniciais de planejamento, quando ainda não há informações suficientes para a elaboração de orçamentos detalhados.

Apesar da disponibilidade de métodos de orçamentação aplicados à custo civil, ainda são escassas metodologias regionalizadas que permitam estimar, de forma rápida e confiável, os custos de implantação de pontes em concreto na Amazônia. A ausência de parâmetros representativos das condições locais dificulta a realização de estudos de concepção e de pré-viabilidade, tornando a tomada de decisão dependente de levantamentos detalhados, que demandam tempo, recursos financeiros e elevado nível de detalhamento dos projetos.

Diante desse contexto, este Trabalho de Conclusão de Curso propõe uma metodologia para estimativa regional de custos de pontes em concreto, fundamentada na análise de dados de licitações públicas realizadas no Estado do Pará. A metodologia possibilita a obtenção de um índice empírico regional capaz de fornecer estimativas preliminares de custos para as fases iniciais de planejamento de empreendimentos. O desenvolvimento deste estudo está inserido no contexto do Projeto EcoPontes, cujas pesquisas buscam integrar infraestrutura de transporte e geração de energia em pequenas comunidades da Amazônia. Nesse sentido, o índice regional proposto poderá auxiliar estudos futuros relacionados à aplicação de pontes-barragem com microgeração hidrelétrica.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Desenvolver uma metodologia para estimativa regional de custos de pontes em concreto na Amazônia, fundamentada na análise de dados de licitações públicas do Estado do Pará, visando fornecer um índice empírico regional para apoiar estudos de concepção e de pré-viabilidade de empreendimentos.

1.1.2 Específicos

- Desenvolver uma base de dados a partir de licitações públicas de pontes em concreto executadas no Estado do Pará.
- Determinar um índice empírico regional de custo estrutural para pontes em concreto com base nas informações obtidas nas licitações analisadas.
- Propor uma metodologia simplificada para estimativa preliminar dos custos de pontes em concreto utilizando o índice regional desenvolvido.
- Aplicar a metodologia em um estudo de caso, avaliando sua aplicabilidade para estimativas preliminares de custos.
- Comparar os resultados obtidos com referências da literatura, discutindo a representatividade do índice regional proposto.

2 APRESENTAÇÃO DO ARTIGO CIENTÍFICO

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi elaborado na modalidade de artigo científico, conforme as normas de publicação do periódico escolhido: Revista Ambiente Construído (A3), ISSN 1678-8621. Assim, após estas considerações iniciais, são apresentados os objetivos da pesquisa e, na sequência, o artigo científico contendo introdução, referencial teórico, metodologia, resultados, discussão e conclusões, que sintetizam a contribuição científica deste estudo para a estimativa de custos para pontes em pequenos rios na Amazônia.

ESTIMATIVA REGIONAL DE CUSTOS PARA PONTES EM PEQUENOS RIOS NA AMAZÔNIA: APLICAÇÃO AO PROJETO ECOPONTES

RESUMO

A estimativa preliminar de custos constitui uma etapa fundamental no planejamento de obras de infraestrutura, especialmente na Amazônia, onde as condições logísticas e construtivas dificultam a elaboração de orçamentos detalhados nas fases iniciais dos empreendimentos. Nesse contexto, este trabalho, desenvolvido no âmbito do Projeto EcoPontes, teve como objetivo desenvolver uma metodologia para estimativa regional de custos de pontes em concreto, fundamentada na análise de dados de licitações públicas realizadas no Estado do Pará. A metodologia baseou-se na construção de uma base de dados composta por 71 licitações públicas, totalizando 167 pontes em concreto executadas entre 2018 e 2024, a partir das quais foi determinado um índice empírico regional de R$ 8.968,06/m³ de concreto. O índice foi aplicado ao estudo de caso do córrego Água Preta, localizado no município de Goianésia do Pará, resultando em um custo estimado de R$ 654.796,18 para implantação da ponte em concreto. Os resultados demonstraram que a metodologia proposta constitui uma ferramenta simples, baseada em dados reais e adequada para estudos de concepção e pré-viabilidade, permitindo estimativas preliminares de custos compatíveis com as condições construtivas da região amazônica. Adicionalmente, o índice regional desenvolvido poderá subsidiar pesquisas futuras relacionadas à integração entre infraestrutura viária e microgeração hidrelétrica no âmbito do Projeto EcoPontes, ampliando seu potencial de aplicação em estudos técnico-econômicos.

Palavras-chave: Pontes em concreto. Estimativa de custos. Licitações públicas. Índice regional. Amazônia.

ABSTRACT

The preliminary cost estimate constitutes a fundamental stage in the planning of infrastructure works, especially in the Amazon, where logistical and construction conditions hinder the preparation of detailed budgets in the initial phases of projects. In this context, this work, developed under the EcoPontes Project, aimed to develop a methodology for regional cost estimation of concrete bridges, based on the analysis of data from public tenders conducted in the State of Pará. The methodology was based on the construction of a database composed of 71 public bids, totaling 167 concrete bridges executed between 2018 and 2024, from which a

regional empirical index of R$ 8,968.06/m³ of concrete was determined. The index was applied to the case study of the Água Preta stream, located in the municipality of Goianésia do Pará, resulting in an estimated cost of R$ 654,796.18 for the implementation of the concrete bridge. The results demonstrated that the proposed methodology constitutes a simple tool, based on real data and suitable for design and pre-feasibility studies, allowing preliminary cost estimates compatible with the construction conditions of the Amazon region. Additionally, the developed regional index may support future research related to the integration between road infrastructure and micro-hydroelectric generation within the scope of the EcoPontes Project, expanding its potential application in techno-economic studies.

Keywords: Concrete bridges. Cost estimation. Public tenders. Regional index. Amazon.

1 INTRODUÇÃO

A infraestrutura de transporte constitui um dos principais fatores para o desenvolvimento econômico e social das comunidades rurais da Amazônia. Em diversas localidades, a construção de pontes é essencial para garantir a mobilidade da população, o escoamento da produção e o acesso a serviços básicos, contribuindo para a integração territorial e a melhoria da qualidade de vida. Entretanto, as características geográficas, logísticas e construtivas da região impõem desafios significativos ao planejamento e à execução dessas obras, refletindo diretamente em seus custos de implantação.

Nas fases iniciais de concepção de empreendimentos, a obtenção de estimativas confiáveis de custos é fundamental para subsidiar estudos de viabilidade técnica e econômica. Contudo, a elaboração de orçamentos detalhados requer elevado nível de definição dos projetos, além de demandar tempo, recursos financeiros e informações que, muitas vezes, ainda não estão disponíveis. Nesse contexto, metodologias simplificadas baseadas em índices de custos tornam-se importantes ferramentas para apoiar o planejamento preliminar de obras de infraestrutura.

Embora existam referências para orçamentação de obras civis, observa-se que ainda são limitadas as metodologias voltadas à obtenção de índices regionais de custos para pontes em concreto na Amazônia, fundamentadas em dados reais de licitações públicas. A utilização de parâmetros obtidos em outras regiões do país pode não representar adequadamente as condições construtivas, logísticas e econômicas amazônicas, comprometendo a confiabilidade das estimativas preliminares e das análises de viabilidade.

Diante desse cenário, este trabalho propõe uma metodologia para estimativa regional de custos de pontes em concreto, fundamentada na análise de dados de licitações públicas realizadas no Estado do Pará. A metodologia busca desenvolver um índice empírico regional capaz de fornecer estimativas preliminares de custos para as fases de concepção e pré-viabilidade de empreendimentos, oferecendo uma ferramenta prática para o planejamento de obras de infraestrutura na região amazônica.

Este estudo está inserido no contexto do Projeto EcoPontes, iniciativa voltada ao desenvolvimento de soluções sustentáveis para a infraestrutura de transporte em comunidades da Amazônia. Embora o projeto contemple pesquisas relacionadas à integração entre pontes e sistemas de microgeração hidrelétrica, esta pesquisa concentra-se exclusivamente no desenvolvimento de uma metodologia para estimativa regional de custos de pontes em concreto. Os resultados obtidos poderão subsidiar estudos futuros sobre aplicações em pontes-barragem com microgeração hidrelétrica, contribuindo para o avanço das pesquisas desenvolvidas no âmbito do Projeto EcoPontes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Desafios na estimativa de custos de obras civis

A previsão acurada de custos de construção é uma etapa crítica para evitar atrasos e garantir a viabilidade de projetos de infraestrutura. Estudos indicam que, em projetos de transportes, os custos reais superam as estimativas iniciais em uma média de 34% para pontes e túneis, um desvio frequentemente atribuído à subjetividade e vieses humanos nas fases preliminares (SCHLÜSSELWÖRTER et al., 2021).

2.2 Infraestrutura de transporte e o contexto do Projeto EcoPontes

A integração de funções em uma única estrutura, como a ponte-barragem, surge como uma boa alternativa para o desenvolvimento regional, especialmente em áreas remotas como a Amazônia (PORTILHO, 2023). A figura 1 apresenta a esquematização técnica da configuração estrutural adotada para as obras civis da EcoPonte.

Figura 1 - Desenho esquemático da EcoPonte.



Fonte: FlidPar Projeto Eco Ponte.

A viabilidade técnica dessa integração foi demonstrada em estudos internacionais, como o de De Almeida et al. (2011), que analisou a incorporação de microgeração em Coimbra, destacando a redução de custos civis quando a estrutura principal já contempla a função hidráulica. No contexto brasileiro, Bernardo e Campos (2018) estabeleceram um parâmetro para este modelo ao definirem que a adaptação de uma ponte convencional para a função de barragem demanda um acréscimo estrutural médio de 67% no consumo de materiais e custos civis, Malhan & Mittal (2021) e Ramalho (2025) estimaram o custo de microcentrais através de funções custo baseadas na potência e altura de queda.

2.3 Viabilidade econômica de pontes

A avaliação econômica de pontes não deve restringir-se ao custo inicial de construção (Capex), mas considerar todo o seu ciclo de vida (LCCA). O custo total inclui inspeções, manutenção, custos operacionais e o valor residual da estrutura ao final de sua vida útil (FAN et al., 2025). Materiais de alta performance, como o concreto de ultra-alto desempenho (UHPC), embora apresentem custos iniciais superiores, tornam-se economicamente vantajosos a longo prazo por reduzirem drasticamente a necessidade de intervenções e manutenções (CARNEIRO, 2025). Para infraestruturas híbridas, Ge et al. (2024) propõem que o "ponto de virada" econômico ocorre quando os custos cumulativos de operação e riscos superam os benefícios gerados, sendo essencial monitorar a vida econômica da estrutura para decisões de reforma ou descomissionamento.

Na Amazônia rural, a substituição de pontes de madeira por estruturas de concreto com microgeração integrada (CGHs) representa uma alternativa promissora para conciliar mobilidade e geração de energia renovável (LEAL JUNIOR, 2024; PORTILHO, 2023). Esses resultados reforçam a importância da obtenção de estimativas preliminares confiáveis para subsidiar estudos de concepção e de pré-viabilidade. A Tabela 1 apresenta uma síntese dos

principais trabalhos relacionados à temática, evidenciando suas contribuições e as lacunas que motivam o desenvolvimento da metodologia proposta neste trabalho.

Tabela 1 - Principais trabalhos relacionados à temática.

Ano	Autores	Resumo do Trabalho
2011	De Almeida et al.	Investiga a viabilidade técnica e econômica da integração de microgeração hidrelétrica em uma ponte-barragem existente em Portugal. O estudo evidencia o potencial de soluções integradas de infraestrutura, servindo como referência para aplicações futuras no contexto do Projeto EcoPontes.
2017	Vasconcelos, L. C.	Analisa os impactos financeiros decorrentes de alterações de projeto em uma ponte rodoviária, evidenciando a importância de estimativas confiáveis de custos durante as etapas iniciais do empreendimento.
2017	Yavuz et al.	Avalia o impacto econômico da construção acelerada de pontes (ABC), demonstrando que custos iniciais mais elevados podem ser compensados pelos benefícios econômicos proporcionados ao longo da operação.
2018	Bernardo & Campos	Analisa as adaptações estruturais necessárias para a utilização de pontes com função de barramento, constituindo referência para pesquisas relacionadas ao Projeto EcoPontes, embora não seja o foco desta pesquisa.
2018	Cadenazzi et al.	Compara materiais estruturais considerando o custo do ciclo de vida, demonstrando a importância da durabilidade na avaliação econômica de pontes.
2021	Kovačević et al.	Propõe modelos baseados em aprendizado de máquina para estimativa de custos de pontes de concreto, evidenciando a necessidade de métodos mais objetivos para reduzir incertezas nas fases iniciais dos projetos.
2021	Malhan & Mittal	Desenvolvem correlações de custo para microcentrais hidrelétricas (MCHs) utilizando diferentes técnicas estatísticas. Propõem funções paramétricas que estimam o custo total de investimento, o custo de obra civil e o custo de equipamentos eletromecânicos em função da potência instalada (P) e da altura de queda (H).

2022	Liu et al.	Analisa o custo do ciclo de vida de pontes estaiadas utilizando diferentes materiais estruturais, reforçando a importância das avaliações econômicas de longo prazo.
2024	Leal Junior, J. W.	Avalia a viabilidade econômica da substituição de pontes de madeira por pontes permanentes, demonstrando os benefícios econômicos decorrentes da redução dos custos de manutenção.
2024	Silva, Lemes & Nirschl	Propõe índices de custos para elementos estruturais de pontes, fornecendo parâmetros para estimativas preliminares em fases conceituais de projeto.
2025	Chale, D. C.	Apresenta alternativas de baixo custo para travessias em pequenos cursos d'água, evidenciando a importância da seleção da solução estrutural conforme as condições locais.
2025	Fan et al.	Avalia economicamente diferentes materiais empregados em tabuleiros de pontes por meio da análise do custo do ciclo de vida, destacando os benefícios da maior durabilidade estrutural.

A análise da literatura evidencia avanços significativos na estimativa de custos de pontes, na avaliação econômica de materiais e na análise do ciclo de vida de estruturas. Observa-se que diversos estudos propõem metodologias aplicadas a pontes convencionais, modelos paramétricos de estimativa de custos e análises econômicas de diferentes soluções estruturais. Entretanto, a maior parte dessas pesquisas foi desenvolvida para contextos específicos, utilizando bases de dados distintas da realidade amazônica, o que limita sua aplicação direta em estudos de concepção e pré-viabilidade de pontes em concreto na região.

Além disso, não foram identificados estudos que proponham uma metodologia regionalizada fundamentada em dados reais de licitações públicas para obtenção de índices de custos de pontes em concreto no Estado do Pará. A ausência de parâmetros representativos das condições construtivas, logísticas e econômicas da Amazônia dificulta a realização de estimativas preliminares confiáveis, tornando a tomada de decisão dependente de orçamentos detalhados, cuja elaboração exige elevado esforço técnico e informações que nem sempre estão disponíveis nas fases iniciais de planejamento.

Dessa forma, a principal contribuição deste trabalho consiste em desenvolver uma metodologia para obtenção de um índice empírico regional de custos de pontes em concreto, fundamentado na análise de dados de licitações públicas realizadas no Estado do Pará. O

índice proposto busca fornecer uma ferramenta simplificada para estimativas preliminares de custos, apoiando estudos de concepção e de pré-viabilidade de obras de infraestrutura na Amazônia. Adicionalmente, os resultados desta pesquisa poderão subsidiar estudos futuros desenvolvidos no âmbito do Projeto EcoPontes, incluindo aplicações relacionadas à integração entre pontes e sistemas de microgeração hidrelétrica, sem constituírem o foco principal deste trabalho.

3 MÉTODO

Esta pesquisa caracteriza-se como aplicada, de abordagem quantitativa e natureza metodológica, pois propõe uma metodologia para obtenção de um índice regional de custos de pontes em concreto na Amazônia. Quanto aos procedimentos técnicos, integra pesquisa documental, por meio da análise de licitações públicas de pontes em concreto executadas no Estado do Pará; pesquisa bibliográfica, para fundamentação teórica acerca da estimativa de custos, orçamentação de obras de infraestrutura e índices aplicados à engenharia civil; e estudo de caso, utilizado para aplicação da metodologia proposta e avaliação de sua aplicabilidade em estimativas preliminares de custos. O método foi estruturado em etapas complementares, descritas a seguir.

3.1 Índice regional e custo final de pontes em concreto

3.1.1 Construção da Base de dados

Inicialmente, foi construída uma base de dados a partir de licitações públicas de pontes em concreto da Secretaria de Estado de Infraestrutura do Pará (SEINFRA, 2024), no período de 2018 a 2024. Para cada ponte, entre as diversas informações das licitações, o estudo concentrou-se no comprimento (C), largura (L), altura estrutural (H), volume total de concreto (V_t) e custo total da ponte licitada (C_t). Esses dados permitiram definir um índice empírico de custo estrutural representativo para a região, que incorpora, de forma indireta, todos os custos associados à execução da ponte. Os valores monetários foram atualizados para 2026 por meio de correção inflacionária com base em índices oficiais do Banco Central do Brasil.

3.1.2 Determinação de índice empírico de custo estrutural de pontes convencionais em concreto

A partir da base de dados de licitações, foi proposto um índice empírico de custo estrutural para estimativa preliminar de pontes em concreto. Para cada empreendimento, o

índice foi obtido pela razão entre o custo total da obra (C_t) e o volume total de concreto empregado (V_t), resultando no custo unitário por metro cúbico de concreto ($C_{R\$/m^3}$), conforme a Equação 1. Em seguida, foi calculado o valor médio desse índice ($I_{R\$/m^3.med}$) para o conjunto das pontes analisadas (Equação 2), adotando-o como representativo das condições construtivas da região de estudo. Onde: $\Sigma C_{R\$/m^3}$ é a somatória do custo total das pontes e *n* é o número de pontes analisadas.

$$C_{R\$/m^3} = \frac{C_t}{V_t} \quad \text{Eq. 1}$$

$$I_{R\$/m^3.med} = \frac{\Sigma C_{R\$/m^3}}{n} \quad \text{Eq. 2}$$

A utilização de modelos paramétricos baseados em variáveis físicas da estrutura constitui uma abordagem para estimativas preliminares de custos em projetos de engenharia, especialmente nas fases iniciais de planejamento, quando ainda não há informações suficientes para elaboração de orçamentos detalhados (LAMBROPOULOS; TSIAMBAOS, 2011; HOLLAR et al., 2013). Nesse contexto, o índice proposto neste trabalho representa uma adaptação dessa abordagem ao contexto de pontes em concreto na Amazônia, utilizando o volume de concreto como variável representativa da escala da obra.

3.1.3 Estimativa preliminar de custos final de pontes em concreto

Após a determinação do índice empírico de custo estrutural da região, estimou-se o custo de implantação de uma ponte convencional em concreto a partir do volume total de concreto previsto em projeto (V_{Proj}), conforme a Equação 3. Essa abordagem permite obter uma estimativa preliminar do custo da estrutura utilizando um único parâmetro físico, sendo adequada para estudos de concepção e análises de pré-viabilidade, quando ainda não há detalhamento suficiente para elaboração de um orçamento executivo (HOLLAR et al., 2013).

$$C_p = I_{R\$/m^3.med} \times V_{proj} \quad \text{Eq. 3}$$

3.2 Estudo de caso

A metodologia proposta foi aplicada ao córrego Água Preta, localizado na comunidade de Janari, município de Goianésia do Pará, com o objetivo de demonstrar a aplicabilidade do

índice regional de custos desenvolvido nesta pesquisa em um cenário real. Para o estudo de caso, foram utilizados dados geométricos da ponte, como comprimento, largura e volume estimado de concreto, obtidos a partir das informações disponibilizadas por Portilho (2023) e Ramalho et al. (2025). Com base nesses dados, aplicou-se a metodologia proposta para obtenção da estimativa preliminar do custo de implantação da ponte em concreto, permitindo avaliar sua utilização como ferramenta de apoio às etapas de concepção e pré-viabilidade de empreendimentos na Amazônia.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Base de dados de pontes convencionais

A base de dados construída para este estudo foi composta por 71 processos licitatórios, contemplando 167 pontes em concreto executadas no Estado do Pará entre os anos de 2018 e 2024. As obras encontram-se distribuídas em diferentes municípios paraenses, abrangendo distintas condições geográficas, logísticas e construtivas da Amazônia, o que confere maior representatividade regional ao conjunto de dados utilizado no desenvolvimento da metodologia proposta. As principais características dimensionais e econômicas das pontes são apresentadas na Tabela 2. Observa-se que as estruturas possuem, em média, 15,54 m de comprimento, 8,60 m de largura e 4,00 m de altura, resultando em um volume médio de 108,37 m³ de concreto. Após a atualização monetária dos contratos para valores de 2026, o custo médio das pontes foi de R$ 971.892,03, variando entre R$ 316.380,66 e R$ 1.775.374,00.

Tabela 2 - Estatísticas descritivas da base de dados de pontes convencionais em concreto.

Variável	Mínimo	Médio	Máximo	Desvio Padrão	CV
Comprimento (m)	6	15,54	31	5,96	0,38
Altura (m)	4	4	8	1,01	0,25
Largura (m)	3	8,6	10	0,88	0,10
Volume de concreto (m³)	31,7	108,37	191,48	28,18	0,26
Custo Total (R$)	307.118,94	943.440,87	1.723.401	290.156,75	0,31
Custos Corrigidos (2026)	316.380,66	971.892,03	1.775.374	298.906,95	0,31

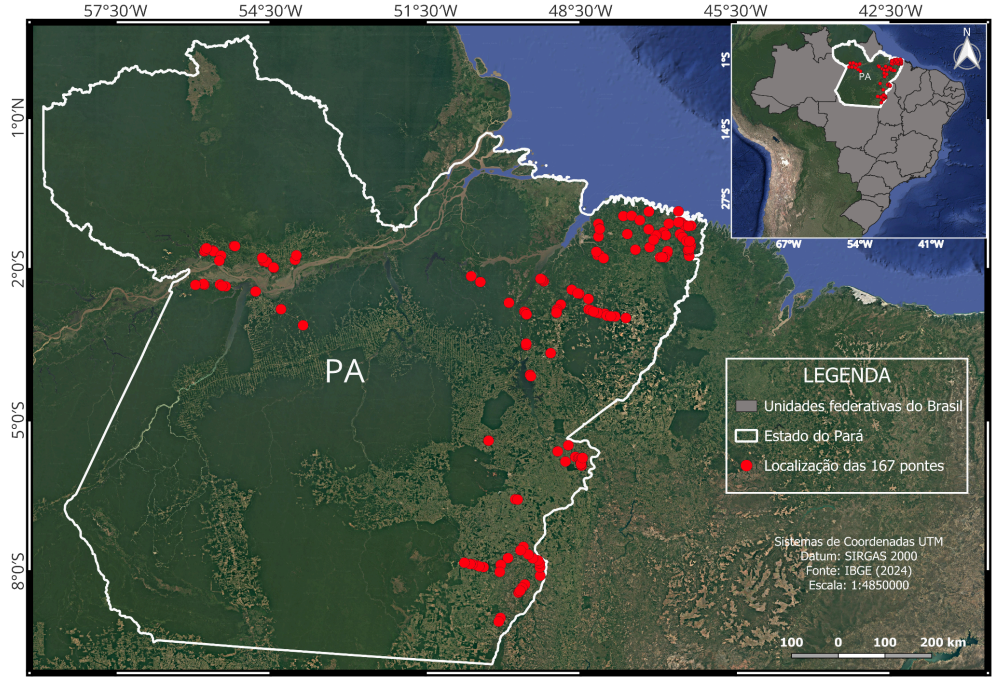
Fonte: SEINFRA (2024) e Banco Central do Brasil (2026).

Os coeficientes de variação indicam baixa a moderada dispersão para as variáveis analisadas, com destaque para a largura das pontes (CV = 0,10) e para o volume de concreto (CV = 0,26), evidenciando relativa uniformidade das tipologias estruturais empregadas nas obras públicas estaduais. Embora os custos apresentem maior variabilidade (CV = 0,31), esse

comportamento é esperado em função das diferenças de comprimento das estruturas, condições de fundação, localização das obras, logística de transporte de materiais e demais particularidades construtivas de cada empreendimento.

A Figura 2 demonstra que as pontes utilizadas na pesquisa estão distribuídas por diferentes regiões do Estado do Pará, reforçando o caráter regional da base de dados. Dessa forma, a base de dados apresenta quantidade de observações, abrangência territorial e consistência estatística suficientes para fundamentar a determinação do índice regional de custo estrutural, apresentado na seção seguinte.

Figura 2 - Distribuição espacial das pontes no Estado do Pará.

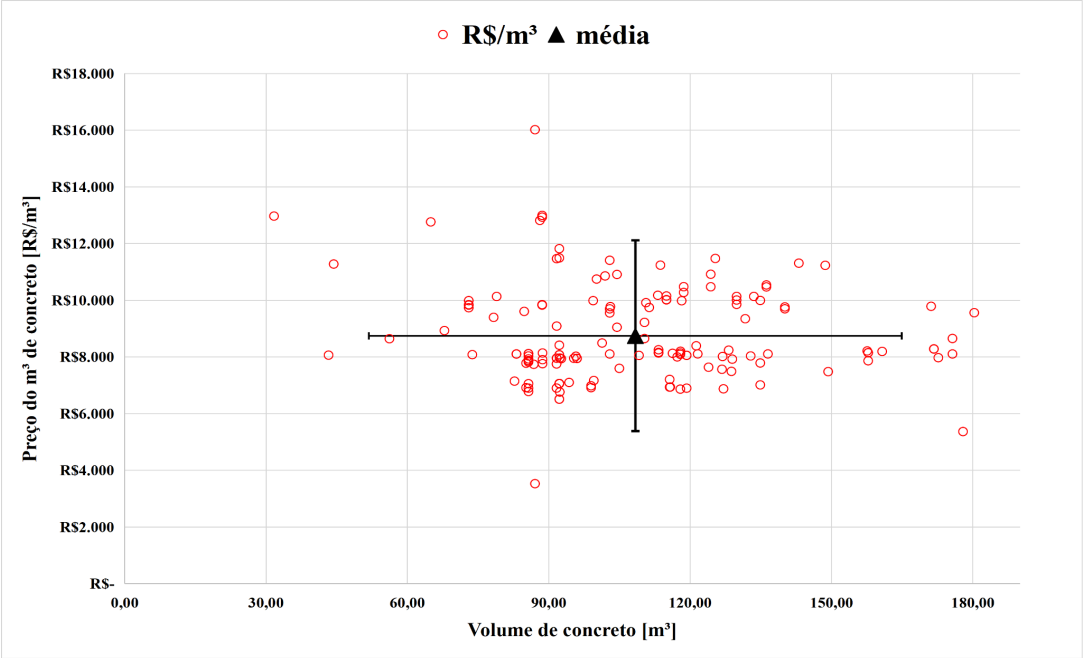


Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

4.2 Índice empírico de custo estrutural

A análise das 167 pontes resultou em um índice empírico regional de custo estrutural de R$ 8.968,06/m³ de concreto. Esse valor representa o custo médio por unidade de volume estrutural das obras analisadas e constitui o principal parâmetro da metodologia proposta para estimativas preliminares de custos de pontes em concreto. A Figura 3 apresenta a distribuição dos índices individuais, evidenciando concentração em torno da média e indicando que o índice regional representa adequadamente a base de dados analisada. As variações observadas estão associadas às diferenças de porte das estruturas, condições de fundação, soluções construtivas e logística de execução das obras.

Figura 3 - Relação entre custo unitário e volume de concreto em pontes de concreto.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Dessa forma, o índice de R$ 8.968,06/m³ fornece uma referência regional para estimativas de custos nas etapas de concepção e planejamento, podendo ser utilizado como base para a adaptação de pontes convencionais em pontes-barragem.

4.3 Estimativa de custos de pontes em concreto

O índice empírico regional obtido permitiu estimar o custo preliminar de pontes convencionais a partir do volume de concreto previsto em projeto. Considerando o volume médio da base de dados (108,37 m³), o modelo estimou um custo médio de R$ 971.892,03, valor compatível com os contratos públicos analisados e coerente com as características das obras executadas no Estado do Pará.

Como exemplo de aplicação, a ponte IG. Poção - KM 21, com volume estrutural de 119,25 m³, apresentou custo estimado de R$ 989.511,85, valor próximo ao custo atualizado da licitação (R$ 960.544,89) (Tabela 3). A diferença observada demonstra que o modelo é capaz de fornecer estimativas consistentes para as etapas de concepção e pré-viabilidade, quando ainda não estão disponíveis informações suficientes para a elaboração de orçamentos executivos.

Tabela 3 - Variáveis de custo estrutural da Ponte IG. Poção - km 21.

PONTE IG. POÇÃO – KM 21 (17,00m x 8,60m X 3,00m)	
V_{proj}	119,25 m³

C_p (2024)	R$ 960.544,89
C_p (2026)	R$ 989.511,85
Aplicação	$C_p = 8.968,06 \times 119,25 = R\$1.069.441,15$

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

4.4 Aplicação da metodologia ao estudo de caso

A metodologia proposta foi aplicada ao córrego Água Preta, localizado na comunidade de Janari, município de Goianésia do Pará, com o objetivo de demonstrar sua aplicabilidade em um cenário representativo da região amazônica. Para o estudo de caso, foram utilizadas as dimensões preliminares da ponte propostas por Portilho (2023) e Ramalho et al. (2025), correspondentes a 12 m de comprimento e 5 m de largura.

Na ausência de um projeto estrutural executivo, o volume de concreto da estrutura foi estimado a partir da média observada nas licitações públicas analisadas, ajustando-se esse valor às dimensões da ponte por meio de um fator de proporcionalidade. Como resultado, obteve-se um volume estimado de concreto de 72,97 m³, utilizado como parâmetro de entrada para aplicação da metodologia desenvolvida neste trabalho.

Após a determinação do índice regional de custo estrutural, estimou-se o custo preliminar de implantação da ponte em concreto utilizando a Equação 3. A Tabela 4 apresenta os parâmetros empregados na estimativa e o custo obtido para o estudo de caso.

Tabela 4 - Estimativa preliminar do custo de implantação da ponte em concreto.

Parâmetro	Valor
Volume estimado de concreto (m³)	72,97
Índice regional médio (R$/m³)	8.968,06
Custo estimado da ponte (R$)	654.796,18

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A aplicação ao estudo de caso demonstra que a metodologia proposta permite integrar, de forma sistemática, os custos estruturais (direto e indireto) em um único modelo de estimativa, produzindo resultados compatíveis com a realidade construtiva da região amazônica. Dessa forma, o modelo constitui uma ferramenta de apoio às etapas de concepção e planejamento de pontes, fornecendo estimativas rápidas e fundamentadas para subsidiar estudos técnicos e análises de viabilidade.

Embora esta pesquisa tenha como foco a estimativa regional de custos de pontes em concreto, o índice desenvolvido pode subsidiar estudos futuros sobre a integração entre

infraestrutura viária e microgeração hidrelétrica no âmbito do Projeto EcoPontes. Considerando o estudo de caso do córrego Água Preta, cujo custo estimado da ponte foi de R$ 654.796,18, a incorporação de uma microcentral hidrelétrica de 15 kW e altura de queda de 2 m resultaria em um investimento total de R$ 956.969,82, utilizando a função de custo de Malhan e Mittal (2021), e de R$ 1.061.872,51, considerando a estimativa de Ramalho et al. (2025). Esses resultados evidenciam o potencial de aplicação do índice regional como ferramenta de apoio em estudos preliminares de soluções integradas para a região amazônica.

5 Conclusão

Este trabalho atingiu o objetivo de desenvolver uma metodologia para estimativa regional de custos de pontes em concreto, fundamentada na análise de dados de licitações públicas realizadas no Estado do Pará. A metodologia proposta permitiu determinar um índice empírico regional de custo estrutural, fornecendo uma ferramenta simples e aplicável para estimativas preliminares nas fases de concepção e planejamento de empreendimentos de infraestrutura.

A análise de 71 licitações públicas, correspondentes a 167 pontes em concreto executadas no Estado do Pará, possibilitou a determinação de um índice empírico regional de R$ 8.968,06/m³, representativo das condições construtivas da região. A aplicação da metodologia ao estudo de caso do córrego Água Preta resultou em um custo estimado de R$ 654.796,18, demonstrando a aplicabilidade do modelo em estudos de concepção e pré-viabilidade, utilizando informações geométricas básicas da estrutura.

Os resultados evidenciaram que a utilização de dados provenientes de licitações públicas constitui uma alternativa consistente para o desenvolvimento de índices regionais de custos, reduzindo a dependência de orçamentos detalhados nas etapas iniciais do planejamento. Além disso, o índice desenvolvido incorpora, de forma indireta, as particularidades construtivas, logísticas e econômicas da realidade amazônica, proporcionando estimativas mais representativas para a região de estudo.

Como limitações, destaca-se que o índice foi desenvolvido exclusivamente a partir de licitações públicas do Estado do Pará, podendo apresentar restrições quando aplicado a outras regiões ou a tipologias estruturais distintas. Além disso, o modelo considera apenas os custos de implantação, não contemplando aspectos relacionados à operação, manutenção, licenciamento ambiental e indicadores clássicos de viabilidade econômica, como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e período de retorno do investimento.

Como trabalhos futuros, recomenda-se ampliar a base de dados para outras regiões do país, incorporar variáveis estruturais, hidráulicas e geotécnicas ao modelo e desenvolver análises completas de viabilidade técnico-econômica e ambiental. Também se sugere validar a metodologia em novos estudos de caso e diferentes configurações de pontes-barragem, contribuindo para seu aperfeiçoamento e ampliação do campo de aplicação.

Assim, esta pesquisa contribui para o avanço das metodologias de estimativa preliminar de custos de pontes em concreto na Amazônia, ao propor um índice regional fundamentado em dados reais de licitações públicas, capaz de apoiar decisões nas etapas iniciais de planejamento e servir de base para futuras aplicações em soluções integradas de infraestrutura.

6 Referências

AKHNOUKH, A. K. **Accelerated bridge construction projects using high performance concrete.** *Case Studies in Construction Materials*, v. 12, e00332, 2020.

ALMEIDA, A. T. de; INVERNO, C.; ALMEIDA, J. L. de; MARQUES, J. A. S.; SANTOS, B. **Small-hydropower integration in a multi-purpose dam-bridge for sustainable urban mobility.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, n. 9, p. 5092–5103, 2011.

ALMEIDA, D. C. B. de; CARNEIRO, A. M. P. **Environmental impact of steel/concrete composite bridges and reinforced concrete bridges: a comparative analysis through Life Cycle Assessment.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 25, e135202, jan./dez. 2025.

BALARIM, C. R. **Avaliação expedita do custo de implantação de micro centrais hidrelétricas.** 1996. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1996.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Calculadora do Cidadão. Disponível em: https://www3.bcb.gov.br/sgspub/localizar/localizar.do?method=prepararTelaLocalizar. Acesso em: 16 mar. 2026.

BERNARDO, A. L. S.; CAMPOS, J. M. A. **Dimensionamento e análise de viabilidade de uma ponte com pequena central hidrelétrica.** 2018. Trabalho de Conclusão

de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2018.

CADENAZZI, T.; DOTELLI, G.; ROSSINI, M.; NOLAN, S.; NANNI, A. **Cost and environmental analyses of reinforcement alternatives for a concrete bridge.** S*tructure and Infrastructure Engineering*, 2020.

CASTILHO, D. **Hidrelétricas na Amazônia brasileira: da expansão à espoliação.** In: SIMPOSIO INTERNACIONAL DE LA HISTORIA DE LA ELECTRIFICACIÓN, 5., 2019, Évora. Anais... Évora, 2019. p. 68–87.

CAVALCANTE, M. M. de A.; HERRERA, J. A. (Org.). **Hidrelétricas na Amazônia: interpretações geográficas sobre as usinas do Madeira e Xingu.** 1. ed. Belém: GAPTA/UFPA, 2017.

CHALE, D. C. R**evisão sistemática de artigos relacionados com passagens molhadas ou pontes molhadas.** ALBA - ISFIC *Research and Science Journal,* v. 1, n. 6, p. 238–250, 2025. Disponível em: https://alba.ac.mz/index.php/alba/article/view/317. Acesso em: 17 jul. 2026.

FAN, J. et al. **Multi-physics simulation-driven assessment of environmental and cost performance in ultra-high performance concrete (UHPC) bridge deck under local climate effects**. Engineering Structures, v. 343, art. 121029, 2025. Disponível em: doi.org. Acesso em: 17 jul. 2026.

LEAL JUNIOR, J. W. **Avaliação econômica da substituição de pontes de madeira por pontes mistas de concreto armado e aço na zona rural de Balsas-MA.** 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Maranhão, Balsas, 2024. Disponível em:https://rosario.ufma.br/jspui/handle/123456789/7881. Acesso em: 17 jul. 2026.

KOVAČEVIĆ, M. et al. Construction cost estimation of reinforced and prestressed concrete bridges using machine learning. **Građevinar**, v. 73, n. 1, p. 1–13, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.14256/JCE.2738.2019. Acesso em: 17 jul. 2026.

LIU, Yang; GUMINGYANG, Mula; LIU, Xiaorui; TAJSIROJAMAN, Tajsiron. Life-cycle cost analysis of long-span CFRP cable-stayed bridges. **Polymers**, v. 14, n. 9, art. 1740, 2022.

MALHAN, P.; MITTAL, M. Evaluation of different statistical techniques for developing cost correlations of micro hydro power plants. **Sustainable Energy res.**, v. 1, p. 1–15, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/347342940. Acesso em: 17 jul. 2026.

MEDEIROS, A. G. de; SÁ, M. das V. V. A. de; SILVA FILHO, J. N. da; ANJOS, M. A. S. dos. Aplicação de metodologias de inspeção em ponte de concreto armado. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 687–702, jul./set. 2020.

PORTILHO, V. B. **Integração de centrais geradoras hidrelétricas em ponte-barragem multiuso na Amazônia rural.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2023.

RAMALHO, R. V. C.; PEREIRA FILHO, M. J. M.; SENA, M. J. S.; MENDES, R. L. S. G.; UGULINO NETO, S.; SOUZA, D. E. S. e; COELHO, J. G.; FURTADO, G. C. A.; MESQUITA, A. L. A. Design of Low-Cost Axial-Flow Turbines for Very Low-Head Micro-Hydropower Plants. **Processes**, v. 13, n. 6, art. 1865, 2025.

SILVA, B. A. P. da; LEMES, A. T.; NIRSCHL, G. C. Estudos de casos para o pré-dimensionamento e estimativas de custos de encontros de pontes. **REGRASP - Revista de Gestão e Projetos**, v. 9, n. 2, p. 73–93, 2024.

VASCONCELOS, L. de C. **Estudo de caso: análise das causas, do método de solução aplicado e impacto de uma ponte em construção que ficou abaixo do nível da água em uma estrada maranhense**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2017.

YAVUZ, F.; ATTANAYAKE, U.; AKTAN, H. Economic impact analysis of bridge construction. **Transportation Research Record**, v. 2630, n. 1, p. 95–103, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.3141/2630-12. Acesso em: 17 jul. 2026.