

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 01/08/2025.



Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"
Programa Interunidades



Mestrado

Engenharia Civil e Ambiental

WILLIAM CONTE

**PREVISÃO DA VIDA ÚTIL DE ESTRUTURAS DE
CONCRETO ARMADO FRENTE À CORROSÃO DAS
ARMADURAS POR CARBONATAÇÃO**

Bauru
2024



WILLIAM CONTE

**PREVISÃO DA VIDA ÚTIL DE ESTRUTURAS DE
CONCRETO ARMADO FRENTE À CORROSÃO DAS
ARMADURAS POR CARBONATAÇÃO**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Área de Concentração Estruturas e Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Caio Gorla Nogueira

Versão original

Bauru
2024



C761p	Conte, William Previsão da vida útil de estruturas de concreto armado frente à corrosão das armaduras por carbonatação / William Conte. – Bauru, 2024 149 p. : il., tabs., fotos Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Bauru Orientador: Caio Gorla Nogueira 1. Carbonatação. 2. Concreto Armado. 3. Durabilidade. 4. Vida Útil. 5. Análise Determinística. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Bauru. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado de WILLIAM CONTE, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 31 dias do mês de julho do ano de 2024, às 09:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE Mestrado de WILLIAM CONTE, intitulada **PREVISÃO DA VIDA ÚTIL DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO FRENTE À CORROSÃO DAS ARMADURAS POR CARBONATAÇÃO**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. CAIO GORLA NOGUEIRA (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental / Universidade Estadual Paulista (Unesp) - Faculdade de Engenharia - Câmpus Bauru, Prof. Dr. ROGÉRIO CARRAZEDO (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia de Estruturas / Universidade de São Paulo (USP) - Escola de Engenharia de São Carlos, Prof. Dr. EMERSON FELIPE FELIX (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Civil / Universidade Estadual Paulista (UNESP) - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - Câmpus de Guaratinguetá. Após a exposição pelo mestrando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. CAIO GORLA NOGUEIRA

DEDICATÓRIA

A Deus

À minha esposa, Ana Cláudia, e ao meu filho, André Henrique

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos são muitos. Afinal, como sempre conciliei o mestrado com meu trabalho, precisei do apoio direto e indireto de muitas pessoas.

Agradeço primeiramente a Deus, pela força, paciência e discernimento, pois neste caminho percorrido, muitos foram os obstáculos, problemas e dificuldades superadas para continuar e jamais desistir.

À minha esposa, Ana Cláudia, pelo apoio em todas as minhas ideias e sonhos, por compartilhar e incentivar a concretização do mestrado. Ao meu filho, André Henrique, sua existência dá sentido a tudo o que faço e me inspira a ser uma pessoa melhor a cada dia. Eu amo vocês.

À minha mãe, Maria Cláudia, por me ensinar o caminho correto da vida e por sempre acreditar em mim. Eu te amo.

À minha segunda família, Anderson, Jaqueline, Alan e Juliana, por estarem sempre comigo, oferecendo apoio e encorajamento nos momentos mais difíceis. A amizade de vocês é inestimável.

À Secretaria Municipal de Obras de Bauru, pelos desafios do dia a dia que me proporcionaram crescimento profissional e pessoal. Agradeço especialmente ao Danilo Masson, Mauro A. O. Júnior, Alexander Felício, Pérola Zanotto, Fernanda Fabri, Daniela Martins, Maysa Malva e Leonardo Galhardo.

Ao professor Newton Ferro, professor Roger Rodrigues, Jamil Tadeu e Luís Henrique, por estarem sempre em meus pensamentos. Vocês são exemplos de dedicação, perseverança e humildade que me inspiram.

Aos amigos Rodrigo de Oliveira, Andrea e Adriano Bonini, André Pollar, Ana Flávia Pontes, Andrei Felipe, Arão Peruzzi, Renata Sajovic e Gustavo Guerrero, pelas boas conversas.

Aos professores Paulo Helene, Edna Possan e Emerson Félix, que contribuíram valiosamente para este trabalho.

À empresa MS Tecnologia, especialmente ao Eng. Eric E. Fabris, por toda colaboração técnica de campo e laboratório.

Ao Instituto de Pesquisa Meteorológica (IPMet), especialmente ao Thiago G. Ferreira, por todo esclarecimento e fornecimento dos dados meteorológicos de Bauru, que foram fundamentais para este trabalho.

E finalmente, porém não menos importante, ao meu orientador, professor Caio Nogueira, pela orientação, amizade e por acreditar em mim em momentos que nem eu mesmo acreditava. Eu nunca vou me cansar de agradecer e reconhecer o quanto você uma pessoa incrível, pelo conhecimento e por extrair o melhor de mim.

A todos, minha eterna gratidão.

“Aquele que é firme na vontade molda o mundo a si mesmo”

Goethe

RESUMO

CONTE, W. (2024) **Previsão da vida útil de estruturas de concreto armado frente à corrosão das armaduras por carbonatação**. *Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, São Paulo, 2024.*

A corrosão do aço das armaduras é uma das principais causas de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado em todo o mundo. As normas e códigos de projeto de estruturas de concreto enfatizam em suas recomendações a importância de se garantir a durabilidade, a partir do conhecimento da vida útil de projeto e total dos elementos estruturais. No entanto, não existem nessas normas procedimentos explícitos e sistemáticos para a previsão do tempo de vida útil das estruturas. Nesse contexto, diversos modelos determinísticos de previsão de concentração de cloretos e da profundidade de carbonatação vêm sendo desenvolvidos, com o objetivo de se obter o tempo estimado para a desp passivação das armaduras e, portanto, estabelecer o início da corrosão. Embora existam tais modelos de previsão atualmente, ainda se carece de bons e vastos resultados de estruturas reais em serviço que permitam validar a utilização desses modelos para uso na etapa do projeto estrutural. Com isso, o presente trabalho apresenta dados de resistência à compressão do concreto, cobertura e frente carbonatada (corrosão por carbonatação) obtidos de uma ponte, com aproximadamente 40 anos, em serviço no município de Bauru-SP. Modelos de previsão determinística da profundidade de carbonatação (Vesikari, 1988; Bob e Afana, 1993; Helene, 1993; EHE – 08, 2010; Possan, 2010 e Ekolu, 2018) são utilizados para comparação com os dados reais da frente carbonatada da estrutura analisada. São verificadas diferentes resistências à compressão e umidade relativa, com o objetivo de simular os possíveis cenários da estrutura. Boa concordância entre os modelos e os dados reais foi obtida, o que sugere que tais modelos podem ser adotados para a estimativa do tempo de vida de projeto de estruturas de concreto.

Palavras-chave: Carbonatação, Concreto Armado, Durabilidade, Vida Útil, Análise Determinística.

ABSTRACT

CONTE, W. (2024) **Previsão da vida útil de estruturas de concreto armado frente à corrosão das armaduras por carbonatação.** *Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, São Paulo, 2024.*

The corrosion of steel reinforcement is one of the main causes of pathological manifestations in reinforced concrete structures worldwide. Standards and design codes for concrete structures emphasize the importance of ensuring durability in their recommendations, based on the knowledge of the design and total service life of structural elements. However, in these codes, explicit and systematic procedures for predicting the service life of structures do not currently exist. In this context, various deterministic models for predicting chloride concentration and carbonation depth have been developed with the aim of estimating the time for depassivation of the reinforcement and thus establishing the onset of corrosion. Although such prediction models exist, there is still a lack of extensive and reliable results from real structures in service to validate the use of these models in the structural design stage. Therefore, this study presents data on concrete compressive strength, cover depth, and carbonation front (carbonation corrosion) obtained from a bridge approximately 40 years old, located in the city of Bauru-SP. Deterministic models for predicting carbonation depth (Vesikari, 1988; Bob and Afana, 1993; Helene, 1993; EHE- 08, 2010; Possan, 2010, and Ekolü, 2018) are used for comparison with the actual data from the carbonation front of the analyzed structure. Different compressive strengths and relative humidity levels are considered to simulate possible structural scenarios. A good agreement between the models and the actual data was obtained, suggesting that such models can be adopted for estimating the design service life of concrete structures.

Keywords: Carbonation, Reinforced Concrete, Durability, Service Life, Deterministic Analysis.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1: MODELO DE VIDA ÚTIL PROPOSTO POR TUUTTI (1982).	11
FIGURA 2.2: MODELO DE VIDA ÚTIL PROPOSTO POR HELENE (1993).....	12
FIGURA 2.3: MODELO QUALITATIVO PROPOSTO POR CASCUDO (1993).	13
FIGURA 2.4: CURVAS DE DETERIORAÇÃO DE UMA ESTRUTURA DE CONCRETO (<i>FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON</i> , 2010).	13
FIGURA 2.5: ESQUEMA DE FORMAÇÃO E REVERSÃO DE UM METAL (ADAPTADO DE GENTIL, 1993).	15
FIGURA 2.6: ESQUEMA DE PILA ELETROQUÍMICA (GENTIL,2011).	16
FIGURA 2.7: CORROSÃO ELETROQUÍMICA NO CONCRETO ARMADO (HELENE, 1993).	17
FIGURA 2.8: PROCESSO DE FISSURAÇÃO DO CONCRETO (ADAPTADO DE LORENSINI, 2006).	18
FIGURA 2.9: REPRESENTAÇÃO DO AVANÇO DA FRENTE DE CARBONATAÇÃO E ALTERAÇÃO DO PH DO CONCRETO AO LONGO DO TEMPO. ADAPTADO DE POSSAN (2010).	19
FIGURA 2.10: TIPO DE MECANISMO DE TRANSPORTE NO CONCRETO, DE ACORDO COM A DIMENSÃO DOS POROS (IDD, 2022).	20
FIGURA 2.11: CRITÉRIO DE MEDIÇÃO DA PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO (RILEM CPC 18, 1988).....	23
FIGURA 2.12: AFERIÇÃO DE PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO EM TESTEMUNHO (SMO, 2022).	23
FIGURA 2.13: PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO PELA RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO (HO E LEWIS, 1987).	24
FIGURA 2.14: ESPESSURA DE CONCRETO CARBONATADO OBTIDA POR DIVERSOS PESQUISADORES (HELENE, 1993).	25
FIGURA 2.15: PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO PELA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO, AO LONGO DO TEMPO (HO E LEWIS, 1987).....	26
FIGURA 2.16: INFLUÊNCIA DO TEOR DE CO ₂ NO COEFICIENTE DE CARBONATAÇÃO (UEMOTO; TAKADA, 1993).	28
FIGURA 2.17: INFLUÊNCIA DA UMIDADE RELATIVA NA PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO (VERBECK, 1958; FIGUEIREDO E MEIRA, 2013).	29
FIGURA 2.18: REPRESENTAÇÃO DA CONDIÇÃO DE SATURAÇÃO DOS POROS E DIFUSÃO DE CO ₂ NO CONCRETO (BAKKER, 1988).	29

FIGURA 2.19: REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO DE PENETRAÇÃO DE CO ₂ NO CONCRETO (FIGUEIREDO, 2005).	30
FIGURA 2.20: EFEITO DA CONDIÇÃO DE EXPOSIÇÃO NA CARBONATAÇÃO SEGUNDO MODELO PROPOSTO POR MEYER (1969).	31
FIGURA 2.21: FLUXOGRAMA PARA O DESENVOLVIMENTO DE VUP DE UMA ESTRUTURA (FIB <i>MODEL CODE</i> 2010, 2010).	40
FIGURA 2.22: ÁBACO DE OBTENÇÃO DA ESPESSURA DE COBRIMENTO DA ESTRUTURA, LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO O TIPO DE CONCRETO E A VIDA ÚTIL DE PROJETO DESEJADA (HELENE, 1993).	45
FIGURA 3.1: MAPA DO ESTADO DE SÃO PAULO, COM A LOCALIZAÇÃO DE BAURU EM DESTAQUE (IBGE, 2023).	58
FIGURA 3.2: LOCALIZAÇÃO DA PONTE SITUADA NO CRUZAMENTO DA RUA ALTO PURÚS COM AV. DR. NUNO DE ASSIS (SMO, 2022).	60
FIGURA 3.3: VISTA GERAL DA PONTE, LADO BAIRRO (SMO, 2022).	61
FIGURA 3.4: VISTA GERAL DA PONTE, LADO BAIRRO (SMO, 2022).	61
FIGURA 3.5: VISTA DAS LONGARINAS E TRANSVERSINAS DA PONTE (SMO, 2022).	62
FIGURA 3.6: REPRESENTAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DAS ARMADURAS NA LONGARINA 1 (SMO, 2022).	63
FIGURA 3.7: INSTALAÇÃO DE EXTRATORA DE CONCRETO NA LONGARINA 1 (SMO, 2022)..	64
FIGURA 3.8: ACOPLAMENTO DO CÁLICE E DA COROA DIAMANTADA NA EXTRATORA, PARA POSTERIOR RETIRADA DO TESTEMUNHO (SMO, 2022).	64
FIGURA 3.9: LOCALIZAÇÕES DOS TESTEMUNHOS (CP's) EXTRAÍDOS NA LONGARINA 1. NOTA QUE UMA EXTRAÇÃO FOI INTERROMPIDA PELO FATO DE O EQUIPAMENTO TER ATINGIDO A ARMADURA (SMO, 2022).	65
FIGURA 3.10: LOCALIZAÇÕES DOS TESTEMUNHOS (CP's) EXTRAÍDOS NA TRANSVERSINA 1 (SMO, 2022).	66
FIGURA 3.11: LOCALIZAÇÕES DOS TESTEMUNHOS (CP's) EXTRAÍDOS NA LAJE DO PASSEIO, SENTIDO BAIRRO (SMO, 2022).	66
FIGURA 3.12: REPRESENTAÇÃO DOS PONTOS, DESTACADOS EM VERMELHO, DE OBTENÇÃO DA FRENTE DE CARBONATAÇÃO, OBTIDOS PARA CADA TESTEMUNHO.	67
FIGURA 3.13: AO FUNDO APRESENTA A LOCALIZAÇÃO DAS EXTRAÇÕES DOS TESTEMUNHOS CP's 05 E 06. EM DESTAQUE APRESENTA CP EXTRAÍDO SEM CARBONATAÇÃO (MODIFICADO DE SMO, 2022).	68

FIGURA 3.14: APÓS RETIRADA DO TESTEMUNHO DA ESTRUTURA, AGUARDOU-SE A SECAGEM DO MESMO PARA POSTERIOR ENSAIO DE CARBONATAÇÃO (SMO, 2022).	69
FIGURA 3.15: ASPERSÃO DE SOLUÇÃO CONTENDO FENOLFTALEÍNA EM TESTEMUNHO (SMO, 2022).	70
FIGURA 3.16: AFERIÇÃO DA PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO EM TESTEMUNHO (SMO, 2022).	70
FIGURA 4.1: AFERIÇÃO DA PROFUNDIDADE DA ARMADURA TRANSVERSAL NA LONGARINA 1.	80
FIGURA 4.2: PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO POR DIFERENTES MODELOS, PARA f_{ck} DE 20MPA E PERÍODO DE 1990 A 2030.	84
FIGURA 4.3: PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO POR DIFERENTES MODELOS, PARA f_{ck} DE 25MPA E PERÍODO DE 1990 A 2030.	86
FIGURA 4.4: PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO POR DIFERENTES MODELOS, PARA f_{ck} DE 32MPA E PERÍODO DE 1990 A 2030.	88
FIGURA 4.5: PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO POR DIFERENTES MODELOS, PARA f_{ck} DE 42,82MPA E PERÍODO DE 1990 A 2030.	90
FIGURA 4.6: PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO PARA OS MODELOS DE POSSAN E EKOLU, PARA f_{ck} DE 25MPA E DIFERENTES VALORES DE UMIDADE RELATIVA.	94
FIGURA 4.7: PARCELA DE RELEVÂNCIA PARA CADA MODELO EM FOCO, PARA $f_{ck} = 25$ MPA E UMIDADE RELATIVA VARIÁVEL.	96
FIGURA 4.8: PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO PARA OS MODELOS DE POSSAN E EKOLU, PARA f_{ck} DE 42,82MPA E DIFERENTES VALORES DE UMIDADE RELATIVA.	97
FIGURA 4.9: PARCELA DE RELEVÂNCIA PARA CADA MODELO EM FOCO, PARA $f_{ck} = 42,82$ MPA E UMIDADE RELATIVA VARIÁVEL.	99

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.1: RELAÇÃO DE CUSTOS DE CONSTRUÇÕES DE ESTRUTURAS NOVAS E DE REPARO/ MANUTENÇÃO DE ESTRUTURAS EXISTENTES EM ALGUNS PAÍSES.	4
TABELA 2.1: CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO SEGUNDO A PERMEABILIDADE DO CONCRETO À ÁGUA.	21
TABELA 2.2: INDICADORES DE pH, INTERVALO DE MUDANÇA DE TONALIDADE E MODO DE PREPARO DA SOLUÇÃO.....	22
TABELA 2.3: TIPOS DE CIMENTO PORTLAND E SUAS RESPECTIVAS ADIÇÕES (ABCP, 2023).	26
TABELA 2.4: COBRIMENTO MÍNIMO POR ELEMENTO ESTRUTURAL.....	34
TABELA 2.5: COBRIMENTO SEGUNDO A NORMA ABNT NBR 6118 (1980).....	35
TABELA 2.6: CLASSES DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL (CAA).	36
TABELA 2.7: CORRESPONDÊNCIA ENTRE A CLASSE DE AGRESSIVIDADE E A QUALIDADE DO CONCRETO.	36
TABELA 2.8: CORRESPONDÊNCIA ENTRE A CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL E O COBRIMENTO NOMINAL PARA $\Delta C = 10$ MM.....	37
TABELA 2.9: CORRESPONDÊNCIA ENTRE A CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL E O COBRIMENTO NOMINAL PARA $\Delta C = 10$ MM.....	38
TABELA 2.10: VIDA ÚTIL DE PROJETO RECOMENDADA PELA ISO 16240.	39
TABELA 2.11: VALORES DE COEFICIENTES RELACIONADOS À UMIDADE RELATIVA DO AMBIENTE.....	44
TABELA 2.12: VALORES DE COEFICIENTES RELACIONADOS À CONCENTRAÇÃO DE CO ₂	44
TABELA 2.13: VALORES DE COEFICIENTES RELACIONADOS AO TIPO DE CIMENTO.	45
TABELA 2.14: VALORES ADOPTADOS PARA <i>c_{env}</i>	48
TABELA 2.15: VALORES ADOTADOS PARA <i>c_{air}</i>	48
TABELA 2.16: VALORES ADOTADOS PARA A E B.....	48
TABELA 2.17: ALGUNS DOS TIPOS DE CIMENTOS ESPANHÓIS E SEUS RESPECTIVOS CIMENTOS BRASILEIROS.	49
TABELA 2.18: COEFICIENTES DO MODELO EM FUNÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO E DO AMBIENTAIS.....	50
TABELA 2.19: COEFICIENTES DO MODELO EM FUNÇÃO DAS CONDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO.....	51
TABELA 2.20: COEFICIENTES RELACIONADOS A CONCENTRAÇÃO DE CO ₂ PARA OBTENÇÃO DE <i>eco</i>	52
TABELA 2.21: COEFICIENTES RELACIONADOS AO TEMPO.	53

TABELA 2.22: COEFICIENTES RELACIONADOS AO TIPO DE CIMENTO.	54
TABELA 2.23: TIPOS DE CIMENTOS DA UNIÃO EUROPEIA E CIMENTOS BRASILEIROS EQUIVALENTES.	54
TABELA 3.1: DADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO PARA TESTEMUNHOS EXTRAÍDOS DA PONTE.	67
TABELA 3.2: DADOS DA PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO OBTIDOS DA ESTRUTURA.	71
TABELA 3.3: CONCENTRAÇÃO DE CO ₂ POR LOCALIZAÇÃO.	75
TABELA 4.1: RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO E LOCALIZAÇÃO POR TESTEMUNHO, MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS ELEMENTOS	78
TABELA 4.2: DADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO E DESVIO PADRÃO, AOS 28 DIAS, E RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO DO CONCRETO.	79
TABELA 4.3: IDENTIFICAÇÃO E PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO POR TESTEMUNHO, MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS ELEMENTOS	81
TABELA 4.4: VARIÁVEIS E VALORES UTILIZADOS NOS MODELOS DETERMINÍSTICOS PARA CENÁRIOS DE ESTUDOS DE MODIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO.	83
TABELA 4.5: PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO PARA DIFERENTES MODELOS, CONSIDERANDO $f_{ck} = 20$ MPa E PERÍODO DE 1990 A 2030	84
TABELA 4.6: PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO PARA DIFERENTES MODELOS, CONSIDERANDO $f_{ck} = 25$ MPa E PERÍODO DE 1990 A 2030.	86
TABELA 4.7: PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO PARA DIFERENTES MODELOS, CONSIDERANDO $f_{ck} = 32$ MPa E PERÍODO DE 1990 A 2030.	88
TABELA 4.8: PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO PARA DIFERENTES MODELOS, CONSIDERANDO $f_{ck} = 42,82$ MPa E PERÍODO DE 1990 A 2030.	90
TABELA 4.9: ANO DE DESPASSIVAÇÃO DA ESTRUTURA, PARA CADA MODELO E RESISTÊNCIA DO CONCRETO.	91
TABELA 4.10: VARIÁVEIS E VALORES UTILIZADOS NOS MODELOS DETERMINÍSTICOS, PARA CENÁRIOS DE ESTUDO DE MODIFICAÇÃO DA UMIDADE RELATIVA	92
TABELA 4.11: PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO PARA OS MODELOS DE POSSAN E EKOLU, CONSIDERANDO f_{ck} DE 25 MPa E PERÍODO DE 1990 A 2030.	93
TABELA 4.12: PARCELA DE RELEVÂNCIA UTILIZANDO OS MODELOS DE POSSAN E EKOLU, PARA f_{ck} DE 25 MPa E DIFERENTES VALORES DE UMIDADE RELATIVA.	95
TABELA 4.13: PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO PARA OS MODELOS DE POSSAN E EKOLU, CONSIDERANDO $f_{ck} = 42,82$ MPa E PERÍODO DE 1990 A 2030.	97

TABELA 4.14: PARCELA DE RELEVÂNCIA UTILIZANDO OS MODELOS DE POSSAN E EKOLU, PARA f_{ck} DE 42,82MPa E DIFERENTES VALORES DE UMIDADE RELATIVA.....	98
--	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 GENERALIDADES	1
1.2 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	5
1.3 OBJETIVOS	6
2. REVISÃO DE CONCEITOS E DA LITERATURA	8
2.1 DURABILIDADE E VIDA ÚTIL	8
2.2 CORROSÃO	14
2.2.1 CORROSÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	15
2.3 O FENÔMENO DA CARBONATAÇÃO	18
2.3.1 MECANISMO DE TRANSPORTE DE SUBSTÂNCIAS EM ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO	20
2.3.2 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO	21
2.3.3 FATORES QUE INFLUENCIAM NA CARBONATAÇÃO	23
2.3.3.1 RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO	24
2.3.3.2 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO	25
2.3.3.3 TIPO DE CIMENTO E ADIÇÕES	26
2.3.3.4 CONCENTRAÇÃO DE CO ₂ NO AMBIENTE	27
2.3.3.5 UMIDADE RELATIVA	28
2.3.3.6 FISSURAS	30
2.3.3.7 EFEITO DA EXPOSIÇÃO AO AMBIENTE E PROTEÇÃO CONTRA CHUVAS	30
2.3.3.8 COBRIMENTO DE CONCRETO	32
2.3.3.9 TEMPERATURA	33
2.4 DURABILIDADE E VIDA ÚTIL NA NORMA BRASILEIRA	33
2.5 DURABILIDADE E VIDA ÚTIL EM NORMAS INTERNACIONAIS	39
2.6 MODELOS MATEMÁTICOS DE PREVISÃO DA FRENTE DE CARBONATAÇÃO	42
2.6.1 MODELO DE VESIKARI	43
2.6.2 MODELO DE BOB E AFANA	44
2.6.3 MODELO DE HELENE	45
2.6.4 MODELO EHE - 08	47
2.6.5 MODELO DE POSSAN	49
2.6.6 MODELO DE EKOLU	51
2.7 COMENTÁRIOS SOBRE A REVISÃO DE CONCEITOS E DA LITERATURA	54
3. METODOLOGIA	58
3.1 ESTUDO DE CASO – PONTE SITUADA NO MUNICÍPIO DE BAURU – SP	58
3.2 ENSAIO DE PACOMETRIA	62
3.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO	63
3.4 ENSAIO DE CARBONATAÇÃO	67
3.5 DADOS DE UMIDADE RELATIVA DE BAURU	72

3.6 MÉTODOS PARA OBTENÇÃO DA MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS DADOS	72
3.7 DADOS DE CONCENTRAÇÃO DE CO₂	74
3.8 DADOS DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO DE PROJETO	76
3.9 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	76
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
4.1 RESULTADOS E ANÁLISES DAS VARIÁVEIS ENVOLVIDAS	78
4.1.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO	78
4.1.2 UMIDADE RELATIVA EM BAURU	79
4.1.3 ENSAIO DE PACOMETRIA DA ESTRUTURA	79
4.1.4 ENSAIO DE CARBONATAÇÃO	80
4.2 MODELOS DETERMINÍSTICOS	82
4.2.1 CENÁRIO COM RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO DE 20MPa	83
4.2.2 CENÁRIO COM RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO DE 25MPa	86
4.2.3 CENÁRIO COM RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO DE 32MPa	88
4.2.4 CENÁRIO COM RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO DE 42,82MPa	89
4.3 RESULTADOS E ANÁLISES DAS PROFUNDIDADES DE CARBONATAÇÃO PARA OS MODELOS DETERMINÍSTICOS PARA DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE UMIDADE RELATIVA	92
4.3.1 CENÁRIO COM RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO DE 25MPa E DIFERENTES VALORES DE UMIDADE RELATIVA	93
4.3.2 CENÁRIO COM RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO DE 42,82MPa E DIFERENTES VALORES DE UMIDADE RELATIVA	97
5. CONCLUSÕES	100
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
ANEXO A – LOCALIZAÇÃO DAS PONTES E VIADUTOS DE BAURU	116
ANEXO B – LOCALIZAÇÃO DAS PONTES E VIADUTOS CLASSIFICADOS COM NOTA BAIXA FRENTE À NORMA 9452:2016	117
ANEXO C – FICHA DE INSPEÇÃO DA PONTE LOCALIZADA NO ENCONTRO DA RUA ALTO PURÚS COM AV. DR. NUNO DE ASSIS – BAURU	118
ANEXO D – PROJETO DA PONTE LOCALIZADA NO ENCONTRO DA RUA ALTO PURÚS COM AV. DR. NUNO DE ASSIS	120
ANEXO E – DADOS E RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO REALIZADOS PELA CETELINS LEM.	121

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo são abordados de forma sucinta os aspectos relacionados à durabilidade, vida útil das estruturas, fenômenos deletérios com foco na carbonatação, despassivação das armaduras, corrosão e seus impactos na economia. Além disso, são apresentados a organização da dissertação, fornecendo uma visão geral da estrutura deste trabalho, e os objetivos, delineando as metas e propósitos que norteiam a pesquisa.

1.1 GENERALIDADES

O concreto é um dos materiais da construção civil mais utilizados pela humanidade, especialmente quando se trata de sua aplicação na engenharia estrutural. No entanto, devido à alta emissão de CO₂ (dióxido de carbono) no ambiente em função da produção do cimento (matéria prima do concreto), bem como na sua utilização, é cada vez maior a preocupação ambiental na produção e utilização de estruturas de concreto. Aliado a isso, tem-se ainda a emissão de CO₂ nos grandes centros urbanos, proveniente da queima de combustíveis fósseis pelos veículos automotores, agravando ainda mais esse cenário. Esses aspectos são de grande importância no contexto do projeto estrutural de novas construções de concreto armado, bem como na avaliação de estruturas já existentes, uma vez que afetam diretamente sua durabilidade que é, atualmente, um requisito mandatório preconizado pelas normas técnicas brasileiras.

A durabilidade de uma obra está diretamente ligada à vida útil dos elementos estruturais que a constituem (ISO 16311, 2014). Durabilidade e vida útil são conceitos comumente associados, todavia seus significados são diferentes. Helene (1993) coloca que durabilidade está relacionada a uma estrutura duradoura, por sua vez, vida útil é o período pelo qual a estrutura mantém-se apta a desempenhar as funções pelas quais foi projetada.

Conceitos relacionados à durabilidade são relativamente recentes na engenharia brasileira, inserida inicialmente na norma ABNT NBR 6118 de 2003, que estabelece durabilidade como sendo a capacidade de uma estrutura permanecer em utilização, sem apresentar anomalias que comprometam integralmente, ou em partes, o uso para o qual foi projetada.

A pauta de durabilidade é reforçada na norma ABNT NBR 15.575-1 (2013), que apresenta a capacidade da edificação em desempenhar as funções pelas quais foi projetada, ao longo de um período e sob condições de utilização e manutenção especificadas no manual de utilização, operação e manutenção.

Embora o requisito de durabilidade seja apresentado e exigido nas normas brasileiras, estas não apresentam um procedimento sistemático e objetivo para o cálculo da vida útil de projeto (VUP), com todos os elementos e parâmetros necessários para sua previsão. Mais especificamente, nada é apresentado com relação à verificação da durabilidade das estruturas de concreto armado e pretendido no tocante à corrosão por ataques de cloretos e/ou carbonatação, mesmo sendo estas as principais causas de perda de durabilidade nessas estruturas. Esse aspecto é de suma importância, pois a corrosão do aço é o mais comum, danoso e difundido fenômeno de deterioração de estruturas de concreto armado (CASCUDO; CARASEK; CAMPOS NETO, 2021) e resulta em impactos financeiros e sociais.

Apesar de existir vários estudos e materiais técnicos na engenharia civil, a maioria está relacionada às propriedades mecânicas e de resistência dos materiais. Por outro lado, existem poucos estudos voltados às condições específicas de utilização das estruturas, da influência dos materiais utilizados durante as construções e o microclima em que a estrutura está inserida. Os crescentes custos envolvendo readequações de estruturas, em alguns casos sendo maiores do que os custos iniciais da obra, tem pressionado técnicos, construtores e pesquisadores a terem mais atenção aos aspectos envolvendo a durabilidade (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Cafange (2011) coloca que a determinação quantitativa da durabilidade dos elementos estruturais requer alterações nos paradigmas técnicos da Arquitetura e Engenharia, com base em desenvolvimentos científicos, normatização e, finalmente, procedimentos técnicos específicos para a previsão da vida útil de projeto e total desses elementos.

De modo geral, existem diversos mecanismos deletérios que afetam diretamente a durabilidade de uma estrutura de concreto armado, reduzindo sua vida útil. Do ponto de vista do comportamento dos materiais, o concreto possui um caráter altamente alcalino, em virtude das interações originárias da hidratação do cimento Portland. Essas interações resultam em uma película passivadora que

envolve as armaduras, mantendo o pH da matriz cimentícia acima de 12 e, portanto, protegendo o aço da corrosão, especificamente. Segundo Kari, Puttonen e Skantz (2014), a carbonatação do concreto é o principal fenômeno que reduz o pH do concreto, tornando as armaduras de aço mais suscetíveis à corrosão. Este fenômeno é chamado de despassivação por carbonatação, e ele ocorre de forma predominante pelo CO_2 existente no ambiente que, no decorrer do tempo, penetra nos microporos do concreto e reage com os demais elementos químicos que o constituem, reduzindo o pH da matriz cimentícia, tornando-o menor que 9, aumentando o potencial de corrosão. O impacto da carbonatação do concreto é amplamente investigado no meio acadêmico, no entanto faltam medidas de campo obtidas de estruturas em utilização nos diversos ambientes sobre o desenvolvimento da carbonatação nos elementos estruturais (NAKADA *et al.*, 2020).

No tocante à corrosão, trata-se de um fenômeno químico ou eletroquímico que ocorre no aço, deteriorando sua superfície e, conseqüentemente, reduzindo a seção transversal da armadura e alterando as propriedades mecânicas do aço. Além disso, a corrosão provoca a perda da aderência entre o concreto adjacente e as barras das armaduras, resultando na diminuição da capacidade portante dos elementos estruturais, à medida que o processo corrosivo evolui. Este fenômeno é gradual e pode ocorrer tanto pela ação do CO_2 como pela ação de cloretos. Neste trabalho será estudada a carbonatação pela ação do CO_2 , com obtenção dos períodos correspondentes à despassivação da estrutura e, conseqüentemente, início da corrosão.

As principais causas que influenciam no processo da carbonatação do concreto e na corrosão das armaduras estão ligadas a aspectos internos e outros externos do concreto. São exemplos de aspectos internos: tipo de cimento, relação água/cimento, presença de adições minerais, condições de cura e presença de fissuras. Por sua vez, os aspectos externos do concreto estão ligados ao meio ambiente, modo de utilização da obra, umidade relativa do ar, concentração de CO_2 e temperatura.

Como mencionado anteriormente, corrosão é um fenômeno deletério que afeta diretamente a durabilidade e vida útil de estruturas de concreto, resultando em grandes impactos financeiros, conforme verifica-se na Tabela 1.1, obtidos de estudos de Ueda e Takewaka (2007).

Tabela 1.1: Relação de custos de construções de estruturas novas e de reparo/ manutenção de estruturas existentes em alguns países.

Pais	Custos de novas estruturas	Custos com reparo e manutenção	Custo total
Japão	52,5 Trilhões de Iene (83%)	10,7 Trilhões de Iene (17%)	63,2 Trilhões de Iene (100%)
Coreia do Sul	116,8 Trilhões de Won (85%)	21,1 Trilhões de Won (15%)	137,9 Trilhões de Won (100%)
França	85,6 Bilhões de Euro (52%)	79,6 Bilhões de Euro (48%)	165,2 Bilhões de Euro (100%)
Alemanha	99,7 Bilhões de Euro (50%)	99,0 Bilhões de Euro (50%)	198,7 Bilhões de Euro (100%)
Itália	58,6 Bilhões de Euro (43%)	76,8 Bilhões de Euro (57%)	135,4 Bilhões de Euro (100%)
Inglaterra	60,7 Bilhões de Libra Esterlina (50%)	61,2 Bilhões de Libra Esterlina (50%)	121,9 Bilhões de Libra Esterlina (100%)

Fonte: Ueda e Takewada (2007).

Nesse aspecto, realizar inspeções técnicas é um ponto crucial para garantir a utilização de uma estrutura, uma vez que uma simples inspeção visual já é capaz de identificar algumas irregularidades. No que diz respeito à utilização de grandes estruturas, questões envolvendo os estados de conservação ganharam destaque após o colapso parcial do viaduto da Marginal Pinheiros, em São Paulo, em 15 de novembro de 2018. Este colapso foi o estímulo necessário para que governantes municipais, estaduais e federais concentrar a atenção para as condições de conservação e utilização de grandes estruturas e obras de arte do país.

Diante deste contexto, objetivando avaliar o estado de conservação de suas grandes estruturas municipais, a Prefeitura Municipal de Bauru (PMB), através da Secretaria Municipal de Obras (SMO), promoveu o aprimoramento profissional de seus engenheiros, a fim de inspecionar e indicar o estado de conservação destas estruturas com base na ABNT NBR 9452:2016 - Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto - Procedimentos. A ABNT NBR 9452, em todas suas versões, apresenta os procedimentos técnicos de coleta de dados necessários para a formulação do diagnóstico e prognóstico nos quesitos de segurança estrutural, de funcionalidade e de durabilidade de uma Obra de Arte Especial (OAE), evidenciando se as condições de utilização da OAE estão adequadas ou não.

1.2 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação é dividida em 5 capítulos, sendo que o primeiro capítulo introduz de forma geral o tema proposto, abordando durabilidade de estruturas de concreto, vida útil, fenômenos deletérios, carbonatação, despassivação das armaduras, corrosão e seu impacto na economia. Os objetivos são descritos neste mesmo capítulo, enquanto o conteúdo completo da dissertação está dividido nos demais capítulos apresentados abaixo:

- No Capítulo 2, Revisão de Conceitos e da Literatura, são aprofundados os aspectos de durabilidade e vida útil de estruturas de concreto armado. É abordado o fenômeno da corrosão e, principalmente, da carbonatação como processo que inicia a corrosão, assim como os fatores que as influenciam. São apresentados parâmetros da normatização nacional, assim como modelos preditivos de cálculo de profundidade de carbonatação, tanto nacionais quanto internacionais utilizados neste trabalho, sendo eles: Vesikari (1988), Bob e Afana (1993), Helene (1993), EHE-08 (2010), Possan (2010) e Ekolu (2018);
- No Capítulo 3, Metodologia, é apresentado o motivo pelo qual foi selecionada a ponte situada no encontro da Avenida Dr. Nuno de Assis com Rua Alto Purús, situada em Bauru - SP, para estudo de caso. Também são apresentados os procedimentos de ensaios de pacometria, resistência à compressão do concreto, carbonatação e forma de obtenção dos dados de umidade relativa da cidade de Bauru, para o período de 2002 a 2022. São demonstradas as formulações para a compilação desses dados;
- No Capítulo 4, Resultados e Discussão, apresenta-se o produto da compilação de todos os dados obtidos em campo, para os diferentes modelos preditivos. São abordados e debatidos diferentes cenários de resistência à compressão do concreto, obtidos da norma e via retroanálise, para a análise da profundidade de carbonatação. Os cenários com diferentes valores de umidade relativa são também abordados e debatidos para os modelos de Possan e Ekolu, com o objetivo de determinar a profundidade de carbonatação da estrutura

em estudo. Além disso, para esses dois modelos, é verificada a influência dos parâmetros de resistência à compressão do concreto e umidade relativa.

- No Capítulo 5, Conclusões, são apresentadas as considerações e observações finais obtidas por meio do estudo até então desenvolvido nesta dissertação;

1.3 OBJETIVOS

Considerando o panorama atual de desenvolvimento de pesquisas nos temas de carbonatação e durabilidade de estruturas de concreto armado, o presente estudo possui o objetivo principal de comparação de modelos de previsão encontrados na literatura nacional e internacional, sendo eles Vesikari (1988), Bob e Afana (1993), Helene (1993), EHE – 08 (2010), Possan (2010) e Ekolu (2018), com dados reais obtidos de uma estrutura existente. Isso será realizado pela comparação dos valores de profundidade de carbonatação obtidos por estes modelos com os valores obtidos da estrutura real, a saber, uma ponte de concreto armado localizada no município de Bauru – SP.

Como consequência do objetivo principal, os objetivos secundários são propostos:

- Discutir os modelos determinísticos abordados para o cálculo da profundidade de carbonatação e sua capacidade de previsão;
- Analisar e discutir como a resistência à compressão do concreto e a umidade relativa do ambiente influenciam na frente de carbonatação estimada pelos modelos de previsão;
- Verificar o período de desp passivação da estrutura segundo os modelos determinísticos abordados;
- Comparar e analisar os valores obtidos de profundidade de carbonatação pelos modelos determinísticos abordados, em diferentes cenários de resistência à compressão do concreto e de umidade relativa com os dados reais da estrutura em serviço.

É importante ressaltar que este trabalho trata exclusivamente da fase de iniciação da corrosão, isto é, até a determinação da vida útil de projeto, que

compreende o período pelo qual há o avanço da carbonatação na estrutura até o momento que atinge a armadura.

5. CONCLUSÕES

O estudo apresentado nesta pesquisa teve como principal objetivo comparar a capacidade de previsão da profundidade de carbonatação de diversos modelos da literatura com dados reais de uma estrutura de ponte em serviço com 41 anos de existência. Com isso, torna-se possível estimar o tempo de vida útil de projeto dessa estrutura considerando como modo de falha, a chegada da frente carbonatada à superfície da armadura passiva da ponte. A seguir, as conclusões acerca de todo o estudo realizado são apresentadas.

Em relação a metodologia adotada, verificou-se que, com a realização de ensaios de pacometria e profundidade de carbonatação é possível constatar se a estrutura encontra-se despassivada. Além disso, com o período de existência (idade) da estrutura, com a realização de extração de testemunho e ensaio de resistência a compressão do concreto, alinhados com as condições apresentadas na CEB – FIB MODEL CODE 1990 (1993), é possível estimar o F_{ck} do concreto utilizado na construção da estrutura.

Ademais, foi verificada a norma ABNT NBR 6118 ao longo de suas atualizações, no que diz respeito a vida útil e durabilidade. Nas atualizações são estabelecidas condições prescritivas de acordo com a classe agressividade ambiental, tipo de concreto e elemento estrutural para adotar a espessura de cobertura. No entanto faltam parâmetros e diretrizes explícitas e sistemáticas para a previsão do tempo de vida útil das estruturas frente aos fenômenos deletérios, sobretudo a carbonatação, o qual é o maior responsável pela corrosão das armaduras em regiões interioranas.

Neste sentido, a utilização de modelos de previsão de vida útil desenvolvidos por pesquisadores nacionais e internacionais podem preencher a lacuna faltante em norma. Deste modo, modelos desenvolvidos por Vesikari (1988), Bob e Afana (1993), Helene (1993), Possan (2010), EHE – 08 (2010) e Ekolu (2018) relacionam dados e informações de entrada de fácil obtenção para estimar a vida útil da estrutura ou até mesmo para adotar o cobrimento da armadura frente à carbonatação. Assim, com os dados obtidos da estrutura real, ponte localizada no encontro da Av. Dr. Nuno de Assis com Rua Alto Purús, de Bauru - SP, foram possíveis compilá-los e compará-los com os valores de profundidade de carbonatação obtidos pelos modelos citados.

Desta forma, empregado o valor de resistência à compressão do concreto obtido por meio de retro análise, de 42,82 MPa, observa-se uma baixa profundidade de carbonatação para os modelos utilizados. Em contrapartida, para os demais cenários adotados, 20, 25 e 32 MPa, verificou-se que a profundidade de carbonatação é maior quanto menor for a resistência a compressão do concreto, indo ao encontro com pesquisas nacionais e internacionais.

Ainda com relação aos resultados utilizando diferentes cenários de resistência à compressão do concreto, para qualquer cenário estudado, os valores de profundidade de carbonatação obtidos pelo modelo de Vesikari apresentam-se superiores aos demais, podendo-se dizer que este é o mais conservador dos métodos estudados. O modelo de Helene apresentou-se valores inferiores aos demais modelos para resistência a compressão do concreto de 20 e 25 MPa. Para resistências a compressão do concreto de 32 e 42,82 MPa, os valores de carbonatação obtidos pelo modelo de Helene estão muito próximo, e em alguns períodos levemente superior, ao modelo de Ekolü.

Em todos os períodos e em todos os cenários de estudo, os modelos de Possan, EHE – 08 e Bob e Afana apresentaram valores de carbonatação relativamente próximos, sobretudo nas análises utilizando concreto com 20 e 25 MPa; além disso, os valores de profundidade de carbonatação são próximos aos valores médios obtidos pelo emprego de todos os modelos.

Além das condições obtidas acima, observa-se que os valores obtidos de carbonatação por meio dos modelos determinísticos e levando em consideração os valores mínimo, médio e máximo de carbonatação obtido da estrutura, sugere-se que o concreto utilizado na época da construção da ponte foi de 32 MPa, visto que todos os modelos empregados neste trabalho se encontram no intervalo mínimo e máximo de profundidade de carbonatação obtido da estrutura. Outro indício que corrobora a esta hipótese é que, para o período de 2021, ano de obtenção dos dados da estrutura, o valor médio obtido pelo emprego dos modelos estudados apresenta-se praticamente igual ao valor médio de carbonatação obtido da estrutura.

De todo modo, para todos os cenários de resistência a compressão do concreto verificam-se as proximidades dos valores de profundidade de carbonatação obtidos pelos modelos com os valores mínimo, média e máximo de carbonatação obtida da estrutura, salvo modelo de Vesikari, que apresenta

valores superiores aos demais modelos, sobretudo quando utilizado o concreto de F_{ck} de 20 MPa. Com relação aos demais modelos, as condições observadas representam um indicativo favorável para a aplicação dos modelos no estudo de reais, i.e., de estruturas existentes.

Com relação ao cenário com emprego dos modelos de Eklou e Possan em umidades relativas diferentes, verificou-se que o comportamento da profundidade de carbonatação é menor para os extremos dos intervalos adotados de umidades relativas, 50% e 80%, e apresenta valores de profundidade de carbonatação maiores para 70%. Isso vai ao encontro do que é apresentado na literatura nacional e internacional, que apresenta que a carbonatação é máxima para umidade relativa entre 60 e 70%.

Ainda com relação aos cenários envolvendo umidade relativa, independente da resistência analisada, 25 ou 42,82 MPa, os modelos apresentam comportamentos semelhantes, i.e., o modelo de Eklou apresenta a umidade relativa como fator preponderante na obtenção da profundidade de carbonatação, salvo condição com umidade relativa de 70% e resistência a compressão do concreto de 42,82 MPa, cujos fatores de relevâncias envolvidos são equivalentes. Por sua vez, o modelo de Possan apresenta como fator para obtenção da profundidade de carbonatação a resistência a compressão do concreto, sendo que, para valores iguais ou superiores a 70% de umidade, esta variável apresenta baixa relevância na obtenção da carbonatação. Esta condição sugere a baixa influência da umidade relativa na profundidade de carbonatação, levando em consideração o modelo de Possan e alta influência para o modelo de Eklou; condição contrária é verificada no que diz respeito a análise levando em consideração a resistência a compressão do concreto, sendo baixa a influência para obtenção da profundidade de carbonatação para o modelo de Eklou e alta para o modelo de Possan.

Com relação ao valor médio obtido por meio dos ensaios de carbonatação da estrutura, verificou-se que está próximo ao valor de cobrimento da armadura transversal, 15,13mm e 20mm, respectivamente, indicando que a estrutura não está despassivada de forma geral. No entanto podem existir pontos da estrutura que possam estar despassivada, ou até mesmo apresente armadura corroída, visto que alguns ensaios apresentam valores de carbonatação superiores ao cobrimento. De modo geral, os resultados obtidos apresentaram boa

concordância entre os modelos e os dados reais obtida da estrutura, o que sugere que tais modelos podem ser adotados para a estimativa do tempo de vida de projeto de estruturas de concreto.

Por fim, conforme verificado ao longo deste trabalho, realizar ensaios, principalmente de carbonatação, em estruturas existentes é um ponto chave para verificar se a estruturas está despassivada. Neste sentido, realizar inspeções visuais e ensaios simples, como pacometria, extração de testemunho, carbonatação e resistência a compressão do concreto fornecem indícios cruciais sobre a vida útil e durabilidade da estrutura, antes que ela apresente ou atinja um estado de limite. Ademais, além dos dados obtidos da estrutura proporcionar informações sobre a “saúde” da estrutura, os dados são pontos substanciais para a calibração dos modelos existentes, assim como podem proporcionar e validar novos modelos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, J. J. O. **Vida útil das estruturas de concreto armado**. In: Concreto: ensino, pesquisa e realizações. 2v. ed. Geraldo C. Isaia. São Paulo: IBRACON, 2005. 923-951 p.

Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). **Quais os tipos de Cimento Portland?** Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/perguntas-frequentes/quais-sao-os-tipos-decimento-portland/> . Acessado em 18 de janeiro de 2023.

Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). **Guia básico de utilização do cimento portland** . 7ªEd. São Paulo, 2002. 28p (BT-106)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto -procedimento. Rio de Janeiro: ABNT. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7680-1**: concreto — extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto parte 1: resistência à compressão axial. Rio de Janeiro: ABNT. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9452**: inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto — procedimento. Rio de Janeiro. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575-1 (2013): Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1**: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT. 2013.

ALEXANDRE, M.; BEUSHAUSEN, H., Durability, service life prediction, and modelling for reinforced concrete structures – review and critique. **Cement and Concrete Research** **122** 17 - 29. Department of Civil Engineering, University of Cape Town. 2019.

ASLANI, F.; DEHESTANI, M., “**Probabilistic impacts of corrosion on structural failure and performance limits of reinforced concrete beams**”, **Construction and Building Materials**, v. 265, pp. 120316, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120316>

BARBOSA, M. R.; BASTOS, P. S. S.. **Traços de concreto para obras de pequeno porte. Concreto e Construção**, v. XXXVI, p. 32-36. São Paulo, 2008.

BAKKER, R.F.M. Chapter Three. In: SCHIESSL, P. ed. **Corrosion of Steel in Concrete**. Report of the Technical Committee 60 – CSC. RILEM. London, 1988. p. 36-42.

BAUER, L.A. Falcão. **Materiais de Construção**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos S.A., 1979. 529.p.

BOB, C.; AFANA, E. **On-site assessment of concrete carbonation**. Proceedings of the International Conference Failure of Concrete Structures, RILEM, Bratislava, Rep. Eslovaca, 1993, p. 84–87.

BOSCH, Bosch Ferramentas Elétricas Profissionais & Acessórios. **SCANNER DE PAREDE D-TECT 200 C PROFESSIONAL**. Disponível em: <https://www.bosch-professional.com/br/pt/products/scanner-de-parede-d-tect-200-c-06010816G0>.

Acessado em 10 de março de 2023

CATUSO, A; MENNUCCI, M; ANDRADE, J; DAL MOLIN, D. **Interferência da exsudação na carbonatação de concretos**. Anais de Congresso Internacional de Corrosão. Búzios: ABRACO, p.1-12, 2016.

CAFANGE, D.M.P.J. **Estudo de métodos e medidas auxiliares para o controle da resistência à carbonatação de concretos estruturais de cimento Portland**. 2011. (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

CADORE, W.W. **Estudo da carbonatação da camada de cobrimento de protótipos de concreto com altos teores de adições minerais e cal hidratada.** Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 2008.

CALLISTER JUNIOR, W. **Ciência e engenharia dos materiais: uma introdução. 5º edição.** Rio de Janeiro. 2002, 620 p.

CARMONA, THOMAS G. **Modelos de Previsão da Despassivação das Armaduras em Estruturas de Concreto Sujeitas à Carbonatação.** 2005. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

CASCUDO, O; **O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas.** São Paulo: Pini; Goiania: Editora UFMG, 1993.

CASCUDO, O. **Revista Concreto e Construções**, Ano XLIX, nº104, out-dez 2021, ISSN1809-7197. Seção: Converse com o IBRACON. Pg. 8. 2021.

CASCUDO, O.; CARASEK, H.; CAMPOS NETO, T. F. **Revista Concreto e Construções**, Ano XLIX, nº102, abr-jun 2021. Uso do aprendizado de máquina na previsão da frente de carbonatação: uma trajetória dos anos 90 aos dias atuais. Pg. 76. 2021.

CASTRO, A. **Influência das adições minerais na durabilidade do concreto sujeito à carbonatação.** 2003, 236 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2003.

CHEN, Z.; LIN, J.; SAGOE-CRENTSIL, K.; DUAN, W. Development of hybrid machine learning-based carbonation models with weighting function. **Construction and Building Materials.** 126359. 2022.

CLIFTON, J. R. Methods for predicting the remaining service life of concrete. In. **INTERNATIONAL CONFERENCE - DURABILITY OF BUILDING MATERIALS**

AND COMPONENTS, 5 th, Brighton, Proceedings... Reino Unido, 1990, pp. 361-373.

COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON. **CEB 238: new approach to durability design: an example for carbonation induced corrosion. Bulletin d'Information**, Suecis, n. 238, may 1993, 138p.

COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON. **CEB – FIP Model Code 1990**. London: Thomas Teldord, 1993.

COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON. **CEB-FIP Model Code 2006**. Model code for service life design. Lausanne, CEB, Bulletin n. 34, p. 116, 2006.

COMITÉ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. (2011). **EN 197-1: cement - part 1: composition, specifications and conformity criteria for common cements**. Bruxelas: CEN, 42p.

COOPER, T. **Beyond Recycling – The longer life option**. The New Economics Foundations, Whitechapel Road, London, 1994. 5 páginas.

COUTO, R. A., **Avaliação probabilística da vida útil de estruturas de concreto armado sujeitas à carbonatação**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. Belo Horizonte, 2017.

CUI, H.; TANG, W.; LIU, W.; DONG, Z.; XING, F. Experimental study on effects of CO_2 concentrations on concrete carbonation and diffusion mechanisms. **Constructions and Building Materials**, v. 93, p. 522-527, 2015.

EHE-08 **Instrucción del Hormigón Estructural**. Madrid: Ministerio de Fomento. Centro de Publicaciones. 4ªEdición, 2010

EN 197-1, Cement - Part 1: Composition, **Specifications and Conformity Criteria for Common Cements**, European Committee for Standardization, 2011. CEN, 42pp.

EKOLU, S. O. (2018), **Model for practical prediction of natural carbonation in reinforced concrete: part 1-formulation**. Cement and Concrete Composites. 86:40-56. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.10.006>.

EKOLU, S. O. (2020), **Model for natural carbonation prediction (NCP): practical application worldwide to real life functioning concrete structures**. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111126>

FELIX, E. F.; BALADUCH, T. J. R.; CARRAZEDO, R.; POSSAN, E.; **Aplicação de inteligência artificial para a predição de parâmetros mecânicos de concretos com agregado reciclado**. Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON. São Paulo, 2018.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON. FIB Bulletin 53. **Model code for structural concrete textbook on behaviour, design and performance**, second edition .Volume 3: Design of durable concrete structures. 2010, p.390.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON. International Federation for Structural Concrete. **fib Bulletin No 34. model code for service life design**. fib . Lausanne, 2006.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON. International Federation for Structural Concrete. **fib Bulletin No. 65. model code 2010, final draft**, vol. 1. Fib. Lausanne, 2012.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON. International Federation for Structural Concrete. **fib Bulletin No. 66. model code 2010, final draft**, vol. 2. Fib. Lausanne, 2012.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON. FIB Bulletin 192. **Bulletin D'information diagnosis and assessment of concrete structures**. 1989.

FIGUEIREDO, E. **Efeito da carbonatação e de cloretos no concreto**. In: ISAIA, G. Concreto: ensino, pesquisa e realizações. v. 2. São Paulo: IBRACON, 2005. P.829-855.

FIGUEIREDO, E. **Avaliação do desempenho de revestimentos para a proteção da armadura contra a corrosão através de técnicas eletroquímicas - Contribuição ao estudo de reparo de estruturas de concreto armado**. Tese (doutorado) –Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994.

FIGUEIREDO, E. J. P.; MEIRA, G. R. Corrosión de armadura de estructuras de hormigón. **ALCONPAT Internacional (Boletim Técnico)**. Mérida (México), 2013, p.28.

FIGUEIREDO, E.P. **Efeitos da carbonatação e de cloretos no concreto**. In: Isaia, G.C. Concreto: ensino, pesquisa e realizações. São Paulo: Ibracon, 2005. V.2, cap. 27, p.829 – 855.

GAP, Google Earth Pro. Imagem obtida por meio do software em 11 de agosto de 2023.

GENTIL, C. **Corrosão**. 3º Ed. LTC - Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 1996.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. 1993, 231f. Tese (Livre Docência) – Departamento de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

HO, D.W.S. and LEWIS R.K. **Carbonation of concrete and its prediction**. Cement and Concrete Research, Vol. 17, pp. 489-504, 1987.

HOOTON, R. D., BICKELY, J. A., **Design for durability: The key to improving concrete sustainability, Construction and Building Materials**. Volume 67, Part

C, 2014, Pages 422-430, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.12.016>.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Panorama de Bauru. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/bauru/panorama> . Acesso em 26 de fevereiro de 2023.

IDD. **Corrosão em estruturas de concreto armado: ação dos cloretos e da carbonatação**. Curso de Extensão 01. Curso online ministrado pelo Prof. Dr. Daniel Vêras Ribeiro. 03/06/2022 a 05/06/2022.

ICZ. **Como a galvanização reduz custos e aumenta a durabilidade das estruturas de painéis fotovoltaicos**. ICZ – Instituto de Metais Não Ferrosos. 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). General Principles on the Design of Structures for Durability. **ISO 13823**. Geneva: ISO/TC, 2008.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). Durability — Service life design of concrete structures. **ISO 16204**. Geneva: ISO/TC, 2012.

INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION-ISO. **ISO 16311-1:2014** - Maintenance and repair of concrete structures -- Part 1: General principles, 19 p., 2014.

KARI, O.P., PUTTONEN, J., SKANTZ, E., **Reactive transport modelling of long-term carbonation**, <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.05.003>. Cement and Concrete Composites, v. 52, pp. 42–53, 2014.

KAZMIERCZAK, C. S. **Contribuição para a análise da eficiência de películas aplicadas sobre estruturas de concreto armado com o objetivo de proteção**

contra a carbonatação. 1995. 168f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

KOCH, Gerhardus H. et al. **Corrosion cost and preventive strategies in the United States. United States.** Federal Highway Administration, 2002.

KULAKOWSKI, M. **Contribuição ao estudo da carbonatação em concretos e argamassas compostos com adições de sílica ativa.** 180p. Tese (Doutorado), Programa de pós-graduação em engenharia de minas metalurgia e de materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

LORENSINI, R.V. **Avaliação probabilística da deterioração de estruturas em concreto armado.** Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, 2006.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: IBRACON, 2008, 674p.

MEYER, A. **Investigation on the carbonation of concrete.** In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE CHEMISTRY OF CEMENT, 5th, 1968. **Proceeding.** (Supplementary Paper III – 52). v. III, p.394-401.Tokyo, 1969.

MONTEMOR, M. F.; SIMÕES, A. M. P.; FERREIRA, M. G. S. Corrosion behavior of rebars in fly ash mortar exposed to carbon dioxide and chlorides. **Cement and Concrete Composites.** V. 24, n. 1, p. 45-53, 2002.

MORANDEAU, A; THIÉRY , M; DANGLA, P. Investigation of the carbonation mechanism of CH and C-S-H in terms of kinetics, microstructure changes and moisture Properties. **Cement and Concrete Research**, v. 56, p. 153-170, 2014.

NAKADA, K; KOMIYA, K; FUMINO, H; NISHIO, Y; KANEMATSU, M; NOGUCHI, T. Carbonation Behavior of Powdered Cement-Based Materials Under Different Relative Humidities and CO₂ Concentrations. **XV International Conference on Durability of Building Materials and Components.** DBMC 2020, Barcelona.

NEVILLE. A. M. **Propriedades do Concreto**. São Paulo: PINI, 1997, 828p.

NUNEZ, I.; NEHDI, M. L. **Machine learning prediction of carbonation depth in recycled aggregate concrete incorporating SCMs**. Construction and Building Materials. 123027. 2021.

PAPADAKIS, V.G.; VAYENAS, C.G.; FARDIS, M.N. **Fundamental modeling and experimental investigation of concrete carbonation**. ACI Journal, v.88, n.4, July-Auguste, 1991.

PETER, M. A. et al. **Competition of several carbonation reactions in concrete: a parametric study**. Cement Concrete Research. v. 38, n.12, p. 1385-1393, 2008

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. SPOBRAS. SPObras conclui recuperação estrutural do viaduto T5, na Marginal Pinheiros, na altura do Parque Villa-Lobos. Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/obras/sp_obras/noticias/?p=314721 . Acesso em 06 de maio de 2023.

Portland Cement Association - PCA, **Types and Causes of Concrete Deterioration**, Portland Cement Association, 5420 Old Orchard Road, Skokie, Illinois, 2002, pp. 60077e61083, 16pp. www.cement.org.

Portland Cement Association – PCA. **Design and Control of Concrete Mixtures**, EB001, 15th edition, Skokie, Illinois, USA, 2011, 460 pages.

POSSAN E., Andrade J. J. O., DAL MOLIN D. C. C., and RIBEIRO J. L. D. **Model to Estimate Concrete Carbonation Depth and Service Life Prediction**. Hygrothermal Behaviour and Building Pathologies, 2021.

POSSAN, E. **Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano**. 2010. Tese de doutorado

(Doutorado em engenharia) - Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

RAMOS, É. S. **Modelagem numérica da propagação da corrosão por cloretos em estruturas de concreto armado**. 2020. 245 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

RIBEIRO, D.V.; SANTOS, B.S.; AMORIM JR; N.S.; SANTANA, H.A.; PINTO, S.A.; **Proposal for classification of concretes quality based on accelerated carbonation tests**. Artigo submetido à Construction and Building Materials, 2020.

RILEM – Reunion Internationale de Laboratoires D’essais et Materiaux, CPC-18: **Measurement of hardened concrete carbonation depth (RILEM recommendations CPC-18)**. Materials and Structures, (1988), pp. 453–455.

ROSTAM, S. **Service life design of concrete structures: a challenge to designers as well as to owners**. Asian journal of civil engineering (building and housing), v. 6, n. 5, 2005, p. 423-445.

SANJUÁN, M. A. B. **Cálculo del Período de Iniciación de la Corrosión de la Armadura del Hormigón**. Madrid, 1992. 386p. Tese (Doutorado) – Universidad Complutense, Facultad de Ciencias Químicas.

SCHIESSL, P. **Corrosion of Steel in Concrete**. Report of the Technical Committee 60-CSC, RILEM, Chapman and Hall, London, 1988.

SILVA, V.M. **Ação da carbonatação em vigas de concreto armado em serviço, construídas em escala natural e reduzida**. 2007. 279 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SECRETARIA MUNICIPAL DE OBRAS (SMO), Prefeitura Municipal de Bauru. Arquivos e dados de projetos e relatórios da ponte localizada no encontro da Av. Dr. Nuno de Assis com Rua Alto Purús. Bauru, 2022.

STOCO, M. A. **Dióxido de carbono na cidade de São Paulo: medidas em superfície e análises sazonais**. 2022. 123f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo, 2022.

TAYLOR, H. F. W. **Cement chemistry**. 2nded. London: [s.n.], 1993.

TUUTTI, K. **Corrosion of steel in concrete. swedish cement and concrete research institute**. Stockholm, Suecis, 1982. 30p.

UEDA, T.; TAKEWAKA, K. **Performance-based standard specifications for aintenance and repair of concrete structures in Japan**. Structural Engineering International, v. 17, n. 4, p. 359-366, 2007.

UEMOTO, T; TAKADA, Y. Factors affecting concrete carbonation rate. **Durability of building materials and components**. v.6, 1993.

VESIKARI, E. **Service life prediction of concrete structures with regard to corrosion of reinforcement**. In: TECHNICAL RESEARCH CENTRE OF FINLAND, report n 553 (Espoo), Finland, 1988, 53 p.

VERBECK, G. J. (1958). **Carbonation of hydrated Portland Cement**. American Society for Testing and Materials – Special Technical Publication, pp. 17-36, 1958.

VIEIRA, R, M.; MARQUES, V. C.; PADILHA Jr, M.; MEIRA, G. R. Estudo da carbonatação natural de concretos em ambiente urbano. Concreto e Construções, São Paulo, v. 58, p. 40-45, 2010.

WILD, S.; KHATIB, J.; JONES, A.. **Relative strenght, pozzolanic activity and cement hydration on superplasticised metakaolin concrete.** Cement and Concrete Research, v. 26, n. 10, p. 1537-1544, 1996.

ANEXO A – LOCALIZAÇÃO DAS PONTES E VIADUTOS DE BAURU



ANEXO B – LOCALIZAÇÃO DAS PONTES E VIADUTOS CLASSIFICADOS COM NOTA BAIXA FRENTE À NORMA 9452:2016



ANEXO C – FICHA DE INSPEÇÃO DA PONTE

LOCALIZADA NO ENCONTRO DA RUA ALTO PURÚS

COM AV. DR. NUNO DE ASSIS – BAURU



ABNT/CEE - 169

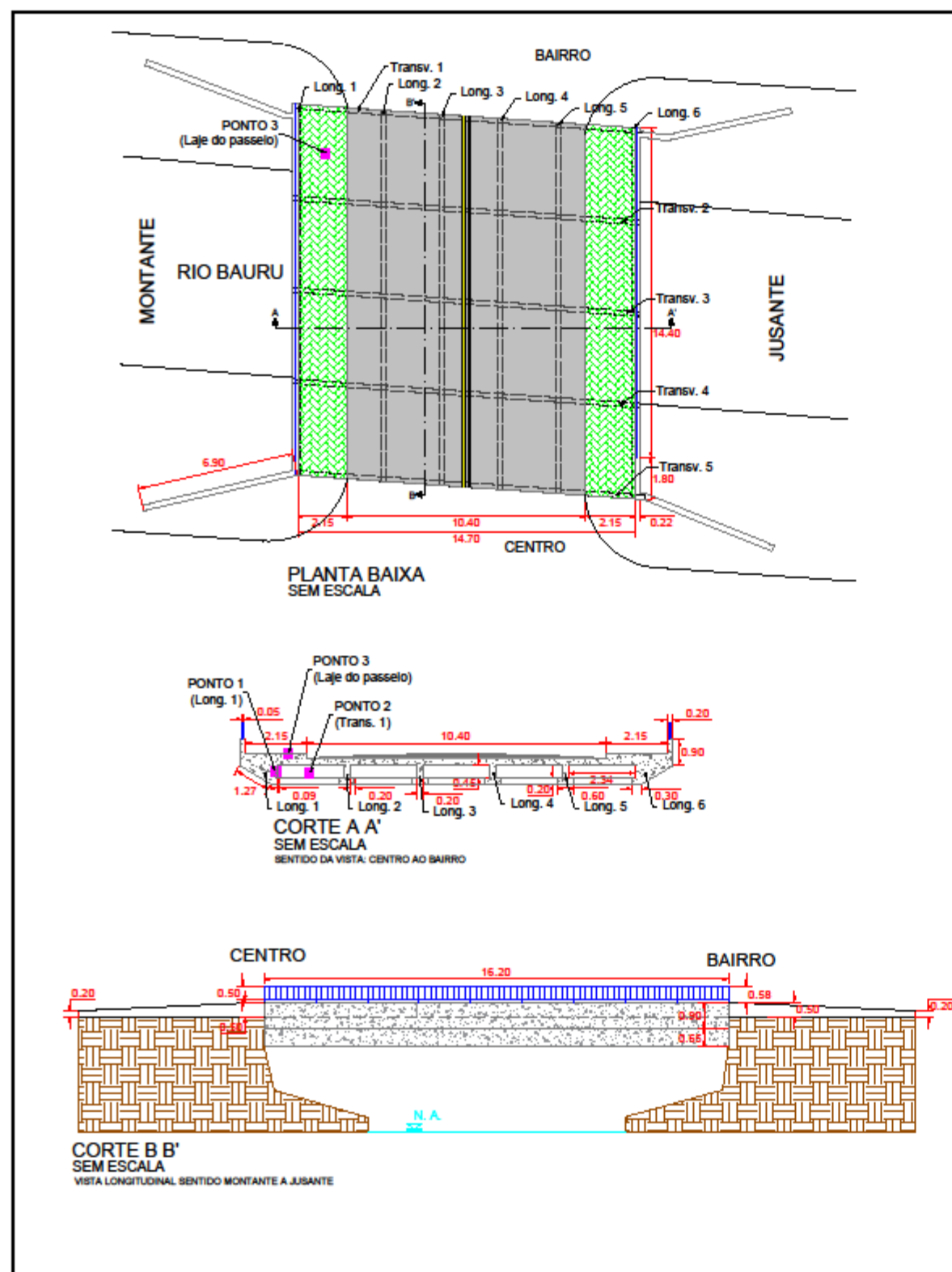
PROJETO ABNT NBR 9452 - MAI 2015



Ficha de inspeção cadastral			
Inspeção cadastral (ano)	2020	OAE Código	PALT 01/20
Jurisdição (Órgão, Concessão ou outro)	Prefeitura Municipal de Bauru	Data da inspeção	20/06/20
Parte I - Cadastro			
A - Identificação e localização			
Rodovia ou município	Prefeitura Municipal de Bauru	Sentido	Jardim Bela Vista/Centro
Obra:	Ponte municipal	Localização (endereço):	Encontro da Rua Alto Purús c/ Av. Dr. Nuno de Assis
Ano da construção	NI	Projetista	NI
Trem-tipo	NI	Construtor:	NI
B – Características da estrutura			
Comprimento e largura			
Comprimento total (m)	16,95	Largura total (m)	15
		Largura útil (m)	10,4
Tipologia estrutural			
Sistema construtivo (Ver tabela A.3): Moldado in loco			
Natureza da transposição (ver Tabela A.4)	Rio	Material (Ver tabela A.5):	Concreto Armado
Seção tipo: Laje sobre longarinas e transversinas			
Longitudinal (Superestrutura) (tabela A.2):	Bi apoiada	Mesoestrutura (Ver tabela A.2):	Outros (M.A.)
Transversal (Superestrutura) (tabela A.2):	Vigas e laje	Infraestrutura (Ver tabela A.2):	NI
Características particulares			
Número de vãos (un): 1		Comprimento do vão típico (m): 2,34	
		Comprimento do maior vão (m): 2,34	
		Altura dos pilares (m):	
Aparelhos de apoio (Quantidade e tipo): NI		Juntas de dilatação (Qtde e tipo): 2 JD- NI	
Encontros: 2			
Outras peculiaridades: Muros de arrimo nos encontros, sob superestrutura			
C – Características funcionais			
Características plani-altimétricas			
Ponte com acessos planos.			
Características da pista			
Número de faixas: 2	Largura da faixa (m): 5,20		
Acostamento: Não possui	Largura do acostamento (m): Não possui		
Refúgios: Não possui	Largura do refúgio (m): Não possui		
Passeio: Possui	Largura do passeio (m): 2,30		
Barreira rígida: Não possui	Guarda-corpo: Metálico		
Pavimento (asfáltico, concreto): asfáltico	Drenos: Não possui		
Pingadeiras: Não possui			
Gabaritos			
Gabarito vertical do viaduto (m): Não se aplica		Gabarito navegável da ponte (m): Não se aplica	
Tráfego			
Frequência de passagem de carga especial: Não se aplica			

Ficha de inspeção cadastral
Parte II - Registro de manifestações patológicas
A - Elementos estruturais
Superestrutura: composta por longarinas, transversinas e lajes com muitos pontos com falhas de concretagem, armadura exposta com início do processo corrosivo, e infiltrações, que merecem atenção e intervenção o quanto antes.
Mesoestrutura: muros de arrimo em ambos lados de concreto armado, ambos em condições regulares de conservação.
Infraestrutura: NI
Aparelhos de apoio: NI
Juntas de dilatação: É possível identificar a existência das juntas de dilatação, porém há preenchimento da mesma com massa asfáltica.
Encontros: composto por muros de arrimo de terra armada
Outros elementos:
B - Elementos da pista ou funcionais
Pavimento: pav. Asfáltico em boas condições de conservação e utilização.
Acostamento e refúgio: Não possui
Drenagem: a ponte não apresenta elementos de drenagem, porém há elementos (BLD/BLS) a montante e jusante da ponte.
Guarda- corpos: metálico em boas condições de conservação e uso, porém faltando complementação de trecho.
Barreira rígida/Defensa metálica: Não possui
C - Outros elementos
Barreiras rígidas/Defensas metálicas: Não possui
Taludes: Em boas condições.
Iluminação: Possui
Sinalização: Possui sinalização horizontal e vertical.
Gabaritos: 2,47
Proteção de pilares: Não se aplica
D - Informações complementares
Parte III - Classificação da OAE (Ver seção 5)
Estrutural: 1
Funcional: 3
Durabilidade: 2
Justificativas:

ANEXO D – PROJETO DA PONTE LOCALIZADA NO ENCONTRO DA RUA ALTO PURÚS COM AV. DR. NUNO DE ASSIS



C. SETOR	L QUADRA	F. LOTE	PROPRIETÁRIO	ÁREAS	
				TERRENO	CONSTRUÇÃO
ASSUNTO:— CROQUI DE LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE EXTRAÇÕES DE TESTEMUNHOS. OBJETO DE ESTUDO: PONTE DA RUA ALTO PURÚS. LEGENDA: IDENTIFICAÇÃO DO LOCAL DE EXTRAÇÃO DE TESTEMUNHO Long. LONGARINA Transv. TRANSVERSINA					
PREFEITURA MUNICIPAL DE BAURU ADMI. - SUÉLLEN SILVA ROSIM SECRETARIA MUNICIPAL DE OBRAS					
SECRETÁRIO ENG. LEANDRO DIAS JOAQUIM				FOLHA 01	
LEVANTAMENTO:		DIRETOR DEPTO: Párola Zanotto			
CÁLCULO: William Costa		DIR. DIVISÃO: William Costa			
DESENHO: Alexander B. Fellolo		DATA: 10/10/2022			
PROCESSO Nº: 150.999/2021		ESCALA: Indefinida			
ARQUIVO:—					

ANEXO E – DADOS E RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO REALIZADOS PELA CETELINS LEM.



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 5963 / 2021 / A

INTERESSADO: PREFEITURA MUNICIPAL DE BAURU

MATERIAL: CONCRETO

NATUREZA DO TRABALHO: Extração, Preparo, Ensaio e Análise de Testemunhos de Estruturas de Concreto

MÉTODO UTILIZADO: NBR 7680-1/2015

REFERÊNCIA: De acordo com o relatório diário de serviços especificados do dia 22/09/2021.

1. AMOSTRA

1.1. Quantidade

06 (Seis) testemunhos de concreto de altura e diâmetro definidos na tabela de ensaio, item 6.

1.2. Indicação Declarada Pelo Interessado

Obra: **Ponte sobre o Rio Bauru**
 Endereço da Obra: **Cruzamento da Rua Alto Purús com Av. Nuno de Assis**
 Cidade: **Bauru / SP** CEP: **17.010-070**
 Data das Extrações: **22/09/2021**
 Data de Ensaio: **29/09/2021 a 30/09/2021**

2. EQUIPAMENTOS

Descrição	Patrimônio	Cert. De Calibração	Validade
Prensa Hidráulica	04-001-99	DNTT 105 c/21	03/2022
Paquímetro Digital	13-010-12	85506-200	12/2021

Este documento tem significação restrita e o seu respeito faz somente à amostra ensaiada.
 Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste laboratório.

Laboratório de Ensaios de Materiais

Av. Nogueira Zavaras, 1925 - Jardim Aeroporto - CEP: 18401-371 - Lins, SP
 Fone: (14) 3533 - 3206 - CNPJ: 51.665.727/0001-29 - IE: Isenta
www.cetelins.com.br - atendimento@cetelins.com.br

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 5963 / 2021 / A

3. IDENTIFICAÇÃO, CONDIÇÕES E RESULTADOS DOS CORPOS-DE-PROVA

- Tempo de Estocagem: 72 horas
- Condições de Estocagem: Cura úmida

CP	01	02	03	04	05	06
Local de Extração	Long. 01	Long. 01	Trans. 01	Trans. 01	Laje Sentido Bairro	Laje Sentido Bairro
Fck (MPa)	-	-	-	-	-	-
Data da Concretagem	-	-	-	-	-	-
Nota Fiscal	-	-	-	-	-	-
Idade dos Corpos-de-prova	-	-	-	-	-	-
Massa Específica Aparente (g/cm³)	1,80	1,70	1,66	1,62	1,58	1,42
Descontinuidade ou Materiais Estranhos	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Montagem (Anexo B)	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Altura (mm)	98,1	101,8	95,1	108,4	102,8	107,7
Diâmetro (mm)	75,0	75,1	75,2	75,2	75,1	75,2
Resistência à Compressão (fci, ext, Inicial) (MPa)	61,7	57,3	64,9	53,6	74,8	68,3
k1	-0,06	-0,06	-0,07	-0,06	-0,08	-0,05
k2	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
k3	0,05	0,05	0,06	0,05	0,00	0,00
k4	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04
Resistência à Compressão (fci, ext) (MPa)	64,2	59,6	66,0	56,3	74,1	68,3

- Escala da prensa utilizada: 0 a 100.000 kgf;
- Resolução da escala da prensa: 20 kgf;

Este documento tem significação restrita a fim de preservar a amostra ensaiada.
Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste laboratório.

Laboratório de Ensaios de Materiais

Av. Nogueira Zaveres, 1805 • Jardim Aeroporto • CEP: 16401-571 - Una, SP
Fone: (14) 3639-3256 • CNPJ: 51.066.727/0001-29 • IL: 16.000
www.cetecilins.com.br • atendimento@cetecilins.com.br





RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 5963 / 2021 / A

4. OBSERVAÇÕES

- 4.1. Corpos-de-prova foram extraídos e coletados pelo técnico do CETEC/LEM;
- 4.2. Todas as faces de aplicação de carga do corpo-de-prova (topos inferior e superior) foram retificadas de acordo com a Norma NBR 5738/15;
- 4.3. Croqui com locação do(s) testemunho(s) no elemento estrutural não informado pelo interessado;
- 4.4. É parte integrante deste Relatório os Anexos 1 e 2, contendo as fotos dos locais de extrações e dos Testemunhos de concreto; e,
- 4.5. Este relatório altera e substitui o Relatório de Ensaio nº 5933/2021 de 01/10/2021, com as devidas correções.

Lins, 06 de outubro de 2021.

CETEC - Centro Tecnológico da Fundação Paulista
LEM - Laboratório de Ensaios de Materiais


Engª Aurea Beatriz Peron
Engenheira de Laboratório
CREA - 5061511083


Engª Claudia Setsumi S. Matsuda
Encarregado Técnico de Laboratório

Este documento tem significação resvita e diz respeito tão somente à amostra ensaiada.
Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste laboratório.

Laboratório de Ensaios de Materiais

Av. Nelson Zeman, 1825 • Jardim Aeroporto • CEP: 16401-371 - Lins, SP
Fone: (14) 3533 - 2295 • CNPJ: 04.665.727/0001-29 - IE: Isento
www.cetec-lins.com.br • atendimento@cetec-lins.com.br

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 5963 / 2021 / A
ANEXO 1 – FOTOS DOS LOCAIS DAS EXTRAÇÕES



Foto 01 – Ponto 01 – CPs 01 e 02



Foto 02 – Ponto 02 – CPs 03 e 04
Obs.: Onde se lê: Mong. A1, leia-se: Trans. 1

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente a amostra ensaiada.
Sua reprodução só poderá ser feita e depende da aprovação formal deste laboratório.

Laboratório de Ensaios de Materiais

Av. Nicolau Zaccaro, 1825 • Jardim Aeroporto • CEP: 16401-371 - Uns, SP
Fone: (14) 3553 - 3295 • CNPJ: 01.606.727/0001-29 • IE: Isento
www.ceteclins.com.br • atendimento@ceteclins.com.br

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 5963 / 2021 / A
ANEXO 1 – FOTOS DOS LOCAIS DAS EXTRAÇÕES

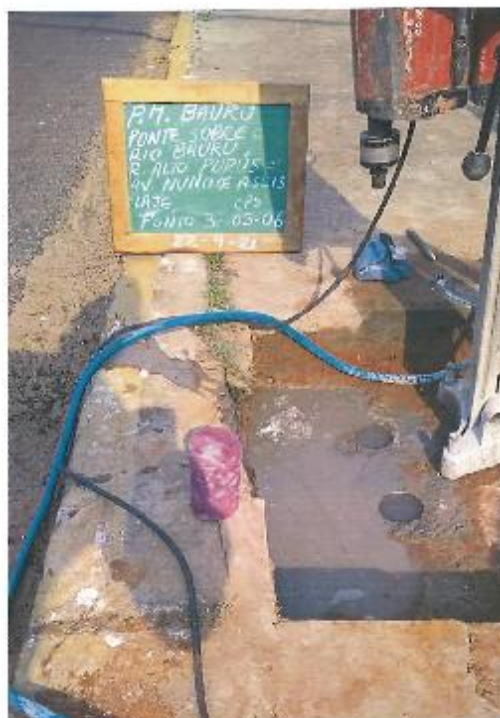


Foto 03 – Ponto 03 – CPs 05 e 06

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à análise ensaiada.
 Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste laboratório.

Laboratório de Ensaios de Materiais

Av. Nogueira Zaveres, 1526 • Jardim Aeroporto • CEP: 16401-371 - Lins, SP
 Fone: (14) 3633-3266 • CNPJ: 51.685.727/0001-26 • IE: Isento
www.ceteclins.com.br • atendimento@ceteclins.com.br



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 5963 / 2021 / A
ANEXO 2 – FOTOS DOS TESTEMUNHOS DE CONCRETO



Foto 01 – Ponto 01 – CP1



Foto 02 – Ponto 02 – CP2



Foto 03 – Ponto 03 – CP3



Foto 04 – Ponto 04 – CP4

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à amostra ensaiada.
 Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste laboratório.

Laboratório de Ensaios de Materiais

Av. Nelson Zaveres, 1925 - Jardim Aeroporto - CEP: 16401-371 - Uns, SP
 Fone: (14) 3533 - 3236 • CNPJ: 51.685.727/0001-29 • IE: Isento
www.ceteclins.com.br • atendimento@ceteclins.com.br



RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 5963 / 2021 / A
ANEXO 2 – FOTOS DOS TESTEMUNHOS DE CONCRETO



Foto 05 – Ponto 05 – CP5



Foto 06 – Ponto 06 – CP6

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à amostra ensaiada.
 Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste laboratório.

Laboratório de Ensaios de Materiais

Av. Nelsa Zaveri, 1925 • Jardim Aeroporto • CEP: 16401-371 - Lins, SP
 Fone: (14) 3533-3296 • CNPJ: 01.555.727/0001-59 • E-mail: atendimento@cetecins.com.br
 www.cetecins.com.br • atendimento@cetecins.com.br

