

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CAMPUS ARACAJU

DEPARTAMENTO DE DESENVOLVIMENTO DE ENSINO

COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

RAFAELA MENEZES DE OLIVEIRA

**MÉTODO SIMPLIFICADO DE AVALIAÇÃO PRELIMINAR EM ESTRUTURAS DE
CONCRETO ARMADO SOB CORROSÃO COM USO DE SOFTWARE –
EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO POR CORROSIÓN - EECC**

MONOGRAFIA

ARACAJU

2017

RAFAELA MENEZES DE OLIVEIRA

**MÉTODO SIMPLIFICADO DE AVALIAÇÃO PRELIMINAR EM ESTRUTURAS DE
CONCRETO ARMADO SOB CORROSÃO COM USO DE SOFTWARE –
EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO POR CORROSIÓN - EECC**

Monografia apresentada como requisito parcial
à obtenção do título de Bacharel, da
Coordenação do Curso de Engenharia Civil, do
Instituto Federal de Sergipe – Campus Aracaju.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Carvalho

ARACAJU

2017

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CAMPUS ARACAJU

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia Nº 92

**MÉTODO SIMPLIFICADO DE AVALIAÇÃO PRELIMINAR EM ESTRUTURAS DE
CONCRETO ARMADO SOB CORROSÃO COM USO DE SOFTWARE –
EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO POR CORROSIÓN - EECC**

RAFAELA MENEZES DE OLIVEIRA

Esta monografia foi apresentada às 11 horas do dia 07 de Dezembro de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos Carlos Henrique de Carvalho, Emerson Meireles de Carvalho e Rodolfo Santos da Conceição abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof MSc. Rodolfo Santos da
Conceição

(Instituto Federal de Sergipe)

Prof(a). MSc. Emerson Meireles de
Carvalho

(Universidade Federal de Sergipe)

Prof. Dr. Carlos Henrique de Carvalho
(Instituto Federal de Sergipe)
Orientador

Prof(a). MSc. Rodolfo Santos da
Conceição (IFS – Campus Aracaju)
Coordenador da COEC

Dedico esse trabalho a minha família, em especial a minha mãe por ter feito todos os esforços possíveis para que eu tivesse a melhor educação/estudo e hoje estou colhendo o fruto dessa grande batalha.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus pelo dom da vida e a meus pais, em especial a minha mãe por ter me dado tanto apoio e ter me ajudado nas horas que mais precisei.

Agradeço também a meus irmãos por todo incentivo e pelos momentos de distração.

Aos meus sobrinhos por terem entendido que quando eu estava na frente do notebook fazendo TCC não era hora de brincar.

Aos amigos que conquistei no IFS e que vou levar pra vida, Luanda, Lari, Belzinha, Manu, Sara, Rammom, Paulo Victor, Wendell, Shannon, entre outros, obrigado por terem me ajudado e me incentivado a estar concluindo essa fase da minha vida.

Em especial agradeço ao meu amigo de graduação, Isau, por ter me ajudado bastante nos ensaios para o TCC. Sem sua ajuda nada estaria pronto, obrigada!

Agradeço aos mestres do IFS, por todo conhecimento repassado com muita dedicação e que será muito bem utilizado. Em especial ao meu professor e orientador, Carlos Henrique, obrigada por toda dedicação e paciência durante a pesquisa. Aos laboratoristas da COEC que me auxiliaram bastante.

RESUMO

OLIVEIRA, Rafaela Menezes. **Método Simplificado de Avaliação em Estruturas de Concreto Armado por Corrosão**. Número total de folhas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2017.

A corrosão de armaduras em concreto vem sendo cada vez mais estudada, pois é um dos problemas mais sérios da construção civil. O presente trabalho apresenta o método simplificado de avaliação de estruturas de concreto armado que sofreram algum tipo de corrosão. A avaliação é feita através de inspeção visual, trabalho de escritório e ensaios in loco, para em seguida, com os resultados obtidos, fazer uso do software – Evaluación de Estructuras de Concreto por Corrosión (EECC), onde seu principal objetivo é determinar o grau de urgência de intervenção da estrutura.

Palavras-chave: Concreto. Agressividade ambiental. Corrosão das armaduras. Avaliação estrutural. Software.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Rafaela Menezes. **Método Simplificado de Avaliação em Estruturas de Concreto Armado por Corrosão**. Número total de folhas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2017.

The corrosion of concrete reinforcement has been increasingly studied, as it is one of the most serious problems of civil construction. The present work presents the simplified method of evaluation of structures of reinforced concrete that suffered some type of corrosion. The evaluation is done through visual inspection, office work and in-situ testing, and then, with the obtained results, make use of the software - Evaluation of Structures of Concrete by Corrosion (EECC), where its main objective is to determine the degree of intervention of the structure.

Keywords: Concrete. Environmental aggressiveness. Corrosion of reinforcement. Structural evaluation. Software.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Correspondência ente a classe de agressividade e a qualidade do concreto.....	14
Figura 2 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10\text{mm}$	15
Figura 3 - Fatores que influenciam no processo de corrosão.....	17
Figura 4 - Classes de agressividade ambiental (caa).....	17
Figura 5 - Fatores que influenciam na ocorrência da corrosão.	20
Figura 6 - Processo da corrosão.	21
Figura 7 - Elementos do mecanismo de corrosão.	22
Figura 8 - Esforços que levam a fissuração, lascamento e destacamento do concreto.	23
Figura 9 - Modelo de vida útil para corrosão das armaduras – modelo de tuutti.	24
Figura 10 - Modelo de vida útil segundo helene.....	25
Figura 11 - Esquema de corrosão por ataque de cloreto.	27
Figura 12 - Critérios de avaliação da resistividade elétrica do concreto.....	28
Figura 13 - Processo de avaliação da estrutura.	30
Figura 14 - Fluxo do processo de avaliação.....	31
Figura 15 - Fluxograma do índice estrutural.....	34
Figura 16 - Menu arquivo	38
Figura 17 - Menu editar.....	39
Figura 18 - Menu projeto	39
Figura 19 - Ficha de descrição do projeto	40
Figura 20 - Guia de avaliação simplificada.....	41
Figura 21 - Menu índice de corrosão.....	41
Figura 22 - Indicadores do índice de corrosão	42
Figura 23 - Índice de agressividade ambiental.....	42
Figura 24 - Menu índice estrutural.....	43
Figura 25 - Índice de armadura transversal para elementos à flexão.....	43
Figura 26 - Índice de armadura longitudinal para elementos à flexão.	44
Figura 27 - Índice simplificado de avaliação para elementos à flexão.....	44
Figura 28 - Índice de armadura transversal para elementos à flexo-compressão.	45
Figura 29 - Índice de armadura longitudinal para elementos à flexo-compressão. ...	45
Figura 30 - Índice simplificado de avaliação para elementos á flexo-compressão....	46
Figura 31 - Estimativa do índice de dano estrutural.	47
Figura 32 - Estimativa do índice estrutural de forma indireta.	47
Figura 33 - Menu janela.	47
Figura 34 - Janela ide.....	48
Figura 35 - Ajuda ao programa.....	49
Figura 36 - Manual em pdf.	49
Figura 37 - Descrição do programa.....	50
Figura 38 - Localização do pilar na quadra poliesportiva - ifs.	51

Figura 39 - Preparação da superfície para fazer a inspeção e realização dos ensaios.	51
Figura 40 - Aparelho técnico – pacômetro.	52
Figura 41 - Local onde foi realizado o ensaio.....	53
Figura 42 - Extração e coleta das amostras.....	53
Figura 43 - Seção real x perda de seção.	58
Figura 44 – Índice de agressividade ambiental – estudo de caso.....	60
Figura 45 - Umedecendo o pilar para realização do ensaio.....	61
Figura 46 - Ensaio de carbonatação - aplicação da fenolftaléina.....	62
Figura 47 - Profundidade de carbonatação.....	62
Figura 48 - Índice de dano de corrosão do pilar da quadra poliesportiva do ifs.	63
Figura 49 - Índice de corrosão do pilar em estudo.....	64
Figura 50 - Índice de armadura transversal do pilar em estudo.....	65
Figura 51 - Índice de armadura longitudinal do pilar em estudo.....	65
Figura 52 - Índice estrutural do pilar em estudo.....	66
Figura 53 - Índice de danos estruturais do pilar – leves e importantes.....	66
Figura 54 - Índice de dano e urgência de intervenção.....	67

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Classificação do ambiente em relação à agressividade, segundo a en206.	19
tabela 2 - Representação de algumas formas de corrosão.....	22
tabela 3 - Probabilidade de corrosão através do potencial de corrosão ecorr.....	29
tabela 4 - Indicadores de corrosão.....	32
tabela 5 - Valores do fator de aa.....	33
tabela 6 - Índice de corrosão e nível de corrosão.....	33
tabela 7 - Índice de armadura transversal para elementos na flexão.....	34
tabela 8 - Índice de armadura longitudinal para elementos na flexão.....	35
tabela 9 - Índice estrutural simplificado para elementos em flexão.....	35
tabela 10 - Índice de armadura transversal para elementos em flexo-compressão.....	36
tabela 11 - Índice de armadura longitudinal para elementos em flexo - compressão.	36
tabela 12 - Índice estrutural simplificado para elementos em flexo-compressão.....	37
tabela 13 - Urgência de intervenção.....	37
tabela 14 - Equipamentos utilizados nos ensaios.....	54
tabela 15 - Anomalias detectas na inspeção visual.....	55
tabela 16 - Dados coletados com o uso do pacômetro.....	56
tabela 17 - Classe de agressividade ambiental do pilar.....	59
tabela 18 - Resultados coletos nos ensaios e classificação do software.....	63
tabela 19 - Bitola e espaçamento das armaduras.....	64

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS.....	13
1.1.1 Objetivos Gerais	13
1.1.2 Objetivos Específicos.....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1. CONCRETO ARMADO E SUA DURABILIDADE.....	14
2.2. CLASSIFICAÇÃO DA AGRESSIVIDADE DO MEIO AMBIENTE.....	16
2.3. CORROSÃO DA ARMADURA.....	20
2.3.1 Carbonatação do Concreto.....	25
2.3.2 Ação dos Cloretos.....	26
2.3.3 Resistividade Elétrica.....	27
2.3.4 Potencial de Corrosão	28
3. METODOLOGIA	30
3.1 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO E CÁLCULO INSERIDA NO SOFTWARE – EECC.....	30
3.1.1 Índice de Corrosão - IC.....	31
3.1.2 Índice Estrutural - IE	34
3.1.3 Índice de Dano Estrutural – IDE.....	37
3.2 O SOFTWARE – EECC (MANUAL DE USO)	38
3.3 ESTUDO DE CASO	50
3.3.1 Inspeção Visual Preliminar	50
3.4 ENSAIOS EM CAMPO E EM LABORATÓRIO	52
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
4.1 INSPEÇÃO VISUAL.....	55
4.2 ENSAIOS IN LOCO	60
5. CONCLUSÃO	68
REFERÊNCIAS	69
Anexo A – Resultados coletado do Gecor 8	71
Anexo B – Resultado do ITPS	76
Anexo C – Relatório gerado pelo software – EECC	77

1. INTRODUÇÃO

O uso do concreto nas construções brasileiras aumenta cada vez mais, este é o método construtivo mais disseminado e que vem se adequando às demandas ambientais.

O concreto é composto pela combinação de agregados graúdos e miúdos, areia, água e cimento, e alguns casos são utilizados aditivos (acelerador de pega, inibidor de corrosão entre outros). Essa mistura é muito resistente à compressão, e para resistir à tração foi necessário utilizar o aço nesta composição, ficando assim conhecido como “concreto armado”.

O estudo da corrosão na estrutura de concreto armado é de grande importância, pois é ela que provoca a deterioração podendo assim afetar a estabilidade e a durabilidade das estruturas.

Existem dois fatores básicos que controlam a questão da durabilidade das estruturas: o concreto em si (qualidade de seus componentes) e as condições do meio ambiente em que a estrutura está inserida.

Vale ressaltar que a resistência da estrutura de concreto aos agentes ambientais e ao uso dependerá não somente da resistência do concreto, como também da resistência da armadura. Qualquer um dos dois que se deteriore, comprometerá a estrutura como um todo.

A ABNT NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos - cita os tipos de classes de agressividade ambiental onde sua classificação irá depender da condição de exposição da estrutura ou de suas partes, é um item da norma bem simplificado não sendo o suficiente para um estudo mais complexo. Sendo assim nesse trabalho utilizaremos também a norma espanhola e a europeia, respectivamente a EHE – 08 - Code on Structural Concrete e Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1 : General rules and rules for buildings.

Sabendo da importância do tema e com o intuito de avaliar o grau de corrosão e o grau de intervenção da estrutura, foi desenvolvido na Espanha, por Gustavo Rojas Moya e equipe, um programa de informática denominado “Evaluación de Estructuras de Concreto por Corrosión – EECC”, no qual será apresentando o modelo simplificado do programa no decorrer do trabalho.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivos Gerais

Este estudo tem como objetivo principal avaliar um método computacional simplificado, que propicia à engenharia pericial do estado procedimentos tabulares na avaliação preliminar de estrutura de concreto armado através do uso de uma ferramenta computacional.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Determinar o grau de corrosão;
- b) Determinar o índice de danos estruturais;
- c) Determinar o grau de urgência da intervenção da estrutura de concreto armado;
- d) Mostrar a funcionalidade do software.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CONCRETO ARMADO E SUA DURABILIDADE

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, elementos de concreto armado são aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre o concreto e a armadura, ou seja, que eles trabalhem como se fosse um só material. A aderência é importante, pois ela é responsável pela compatibilidade de deformações e transferências de esforços entre o aço e o concreto.

Uma estrutura bem projetada necessita de uma boa capacidade de resistência e um ótimo desempenho de serviço. Quanto maior for à resistência, maior será a sua segurança à ruptura. Em relação ao desempenho, a estrutura têm que manter-se em condições plenas de utilização durante sua vida útil para a qual foi projetada. A junção desses dois fatores é essencial para a durabilidade da estrutura.

A durabilidade consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas, em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto. (ABNT NBR 6118, 2014, p.13)

São várias as condições estabelecidas na norma brasileira para manter a durabilidade da estrutura, alguma delas é a qualidade do concreto de cobrimento e o cobrimento nominal. Na figura abaixo pode ser visto a importância da relação entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto.

Figura 1 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto.

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.
^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.
^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: (ABNT NBR 6118:2014).

Estudos mostram que quanto menor for o fator água/cimento, mais próximos estarão os grãos de cimento uns dos outros e, portanto, menor a porosidade da pasta de cimento, ou seja, o transporte dos íons cloretos irá ser bem menor. (Vilasboas, 2013 apud Prata, 2017)

A figura 02 mostra a relação entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal referente a cada tipo de estrutura.

Figura 2 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10\text{mm}$.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte: (ABNT NBR 6118:2014).

É perceptível que na figura 2 quanto maior for a agressividade ambiental, maior será o seu cobrimento nominal. Já na figura 1 a relação água cimento diminui com o aumento do nível de agressão ambiental.

A norma cita vários tipos de mecanismo de envelhecimento e deterioração da estrutura de concreto, são eles: mecanismos preponderantes de deterioração relativos ao concreto, mecanismo preponderantes de deterioração relativos à armadura e mecanismo de deterioração da estrutura propriamente dita.

Esse estudo tem como foco principal os mecanismos preponderantes de deterioração relativos à armadura, que é a despassivação por carbonatação e a despassivação por ação de cloretos. A despassivação por ação de cloretos consiste na ruptura da camada da armadura, causada pelo teor elevado de íon-cloro (cloreto).

A ação se dá através da penetração do cloreto na estrutura seja ela por processos de difusão ou de absorção capilar de águas fazendo com que ocorra a corrosão da armadura, gerando assim manchas, fissuras, destacamentos de pedaços do concreto, perda de aderência podendo promover um colapso da estrutura ou de suas partes. A análise do nível de cloreto, resistividade, intensidade de corrosão, entre outros não é perceptível a olho nu, é necessário realizar ensaios específicos.

2.2. CLASSIFICAÇÃO DA AGRESSIVIDADE DO MEIO AMBIENTE

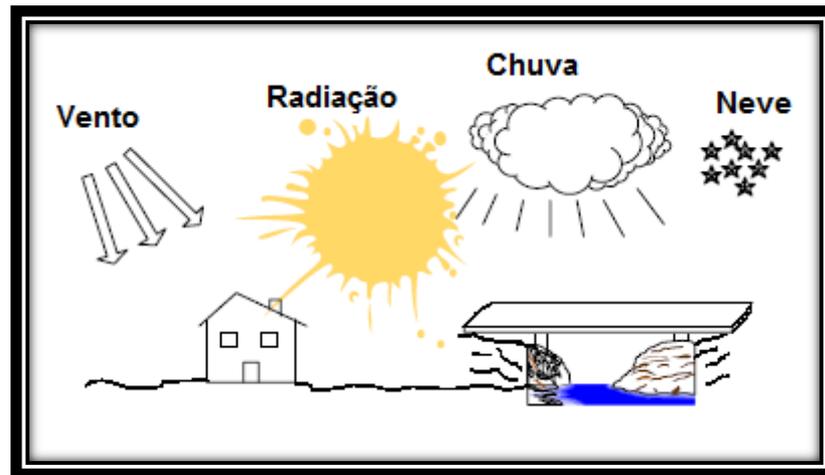
O estudo das condições ambientais é de suma importância, pois é significativo conhecer, avaliar e classificar o grau de agressividade do ambiente. A agressividade classificada de maneira errônea irá comprometer a estrutura, gerando assim uma deterioração da mesma.

Helene (1998) apud Carvalho (2014), diz que uma mesma estrutura pode ter diferentes comportamentos quanto à durabilidade, não sendo uma propriedade inerente ou intrínseca à estrutura e sim ao resultado da interação do concreto com o ambiente e as condições de uso.

São vários os fatores que afetam o processo de corrosão e que está diretamente relacionado com a classificação de agressividade ambiental, o mais importante é o conteúdo da umidade do concreto que depende do meio em que ele está inserido. O teor de umidade do concreto afetará a resistividade e a disponibilidade de oxigênio no nível da armadura.

O teor de água depende do clima local e global que afeta a estrutura. Assim, a umidade relativa média, a temperatura, as chuvas, a ação do sol e a direção do vento são os fatores mais influentes na umidade contida no concreto.

Figura 3 - Fatores que influenciam no processo de corrosão.



Fonte: (Manual Contecvet, adaptada pelo autor).

A norma brasileira 6118:2014 classifica a agressividade ambiental em quatro níveis e esta diretamente ligada ao local em que a obra está inserida, que vai desde a zona rural à zona costeira. Essa classificação pode ser vista na figura abaixo.

Figura 4 - Classes de agressividade ambiental (CAA).

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
	I		Fraca
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a Industrial ^{a, b}	Grande
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c} Respingos de maré	Elevado

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: (ABNT NBR 6118:2014).

Ao analisar a figura 04, vê-se que a classificação ambiental é genérica, ficando sujeita a interpretações próprias do projetista que pode subjetivamente

adotar uma ou outra classificação expondo às vezes a estrutura a uma agressividade à qual não está adequada. (ALVES, 2007 apud Prata, 2017).

A norma europeia EN206 traz uma classificação mais detalhada, ela classifique o ataque pelo gelo-degelo, ataque químico, por corrosão induzida pela carbonatação ou por íons cloretos, esse estudo irá abordar alguns desses itens. A tabela 01 mostra a classificação, a descrição do ambiente e um exemplo para cada classe.

Tabela 1 - Classificação do ambiente em relação à agressividade, segundo a EN206.

1- Sem risco de corrosão		
Classe	Descrição do ambiente	Exemplo
X0	Todos os ambientes, exceto ao gelo/degelo, á abrasão ou ao ataque químico	Concreto no interior dos edifícios com nível de umidade muito baixo.
2- Corrosão induzida por carbonatação		
Quando o concreto armado está exposto a ambiente úmido, a exposição deve ser classificada da seguinte forma: Nota: as condições de umidade a ser considerada no recobrimento do concreto, em alguns casos, podem ser a mesma do ambiente circundante. Nesses casos, a classificação desse meio deve ser adequada. Esta observação não é válida no caso de uma barreira entre o concreto e o meio ambiente.		
XC1	Seco ou permanentemente úmido	Concreto armado no interior do edifício com umidade relativa baixa. Concreto permanentemente submerso.
XC2	Úmido, raramente seco	Superfícies de concreto sujeitas a contato com água por longos períodos. Fundações.
XC3	Umidade moderada	Concreto armado em edifícios com umidade relativa moderada. Concreto no exterior protegido da chuva.
XC4	Ciclos úmidos e secos	Superfícies de concreto em contato com água, fora do âmbito da classe XC2.
3- Corrosão induzida por cloreto não provenientes da água do mar		
XD1	Moderadamente úmido	Superfície de concreto exposto a cloretos contidos no ar.
XD2	Úmido, raramente seco	Concreto exposto à ação de águas industriais contendo cloretos. Piscina
XD3	Ciclos úmidos e secos	Partes de pontes expostas a salpicos de água contendo cloretos.
4- Corrosão induzida por cloreto de origem marinha		
XS1	Exposição à ação do sal contida no ar, mas não em contato com a água do mar.	Estruturas próximas ao mar ou à costa.
XS2	Permanentemente submersa	Parte de estruturas marítimas.
XS3	Áreas expostas à ação da maré ou salpicos de água	Parte de estruturas marítimas.

Fonte: (EN 1992-1-1:2004, adaptada pelo autor).

Diante dos dados existentes na tabela 01 e figura 04 pode ser identificado o nível de agressividade, para o ambiente em estudo, no qual a estrutura está exposta e o seu risco de deterioração.

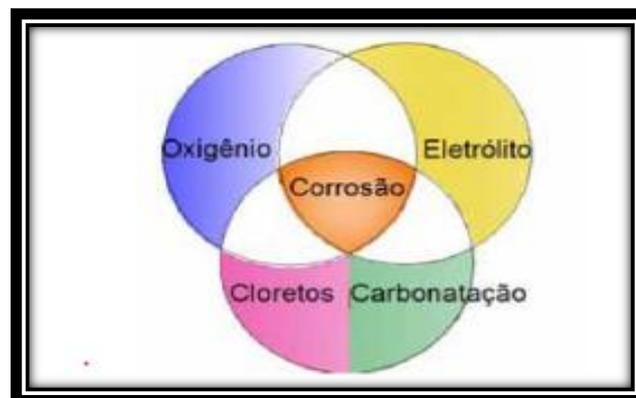
2.3. CORROSÃO DA ARMADURA

São várias as formas de designar o conceito do termo “corrosão”, uma delas é que corrosão é a interação destrutiva de um material com o ambiente, seja por reação química ou eletroquímica. Basicamente, são dois os processos principais de corrosão: a oxidação e a corrosão propriamente dita (Helene, 1986 apud Pellizzer, 2015).

A oxidação se dá através do ataque provocado por uma reação gás-metal, formando uma película de óxido. Já a corrosão propriamente dita é causada pelo ataque da natureza na superfície do concreto em presença de umidade.

Para haver o processo corrosivo é preciso que o concreto esteja úmido, que exista oxigênio, que haja uma diferença de potencial entre dois pontos e que ocorra o rompimento da camada passivadora da armadura (Bohni,2005 apud Torres,2011). Essa relação pode ser visto na figura abaixo, onde representa os fatores para a ocorrência do processo corrosivo da armadura.

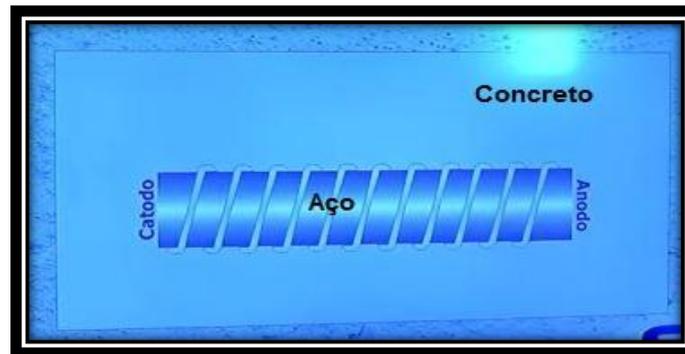
Figura 5 - Fatores que influenciam na ocorrência da corrosão.



Fonte: (Bohni,2005 apud Torres,2011)

A corrosão trata-se de um processo eletroquímico no qual há um ânodo e um cátodo. A diferença de potencial entre pontos pode gerar uma corrente, iniciando assim a corrosão, isso ocorre devido à presença de água no concreto (pois ela serve de eletrólito).

Figura 6 - Processo da corrosão.



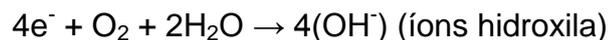
Fonte: (Imagem da internet adaptada pelo autor, 2017)

As reações que ocorrem, no processo de corrosão, podem ser descritas simplificadaamente como mostra as equações a seguir (Neville, 1997 apud Crauss, 2010):

Reações anódicas:



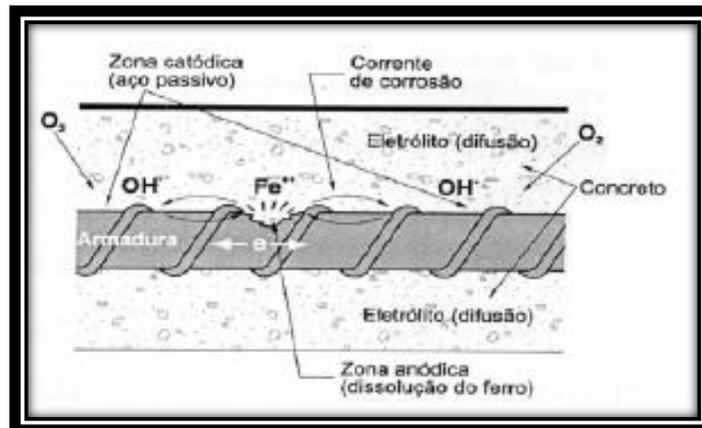
Reações catódicas:



Com a despassivação do aço e a presença dos fatores que influenciam na corrosão citados anteriormente, ocorre o desencadeamento dessas reações.

Os cátions ferrosos formados pela dissolução do metal na fase anódica são transferidos para a solução dos poros, enquanto os elétrons livres migram para a fase catódica, e, na presença de água (eletrólito) e oxigênio, ocorre à formação de íons hidroxila. Como existe a contínua migração de íons ocorre à formação da ferrugem devido à combinação do íon hidroxila e o íon ferroso. (Crauss, 2010)

Figura 7 - Elementos do mecanismo de corrosão.



Fonte: (Cunha e Helene, 2001 apud Crauss, 2010)

A armadura pode sofrer diferentes formas de corrosão eletroquímica, algumas delas são: a corrosão uniforme, a corrosão puntiforme ou por pite e a corrosão intragranular, como pode ser observado na tabela a seguir.

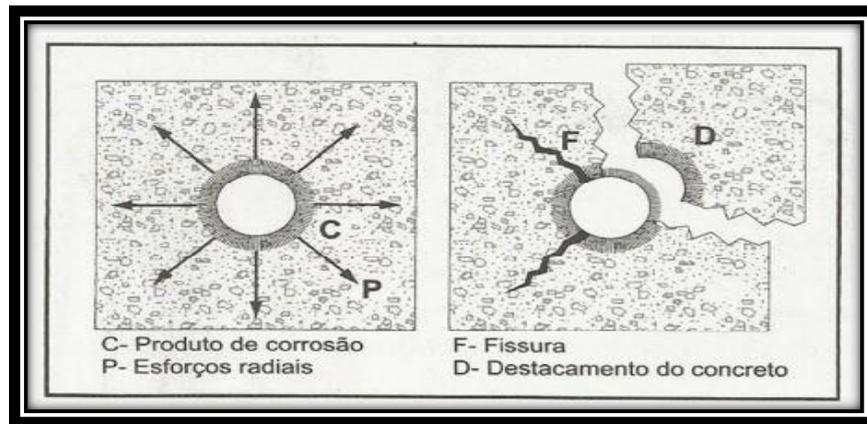
Tabela 2 - Representação de algumas formas de corrosão.

Corrosão uniforme	Corrosão em toda a extensão da armadura quando esta fica exposta ao meio corrosivo	
Corrosão puntiforme ou pite	Desgastes são localizados sob a forma de pequenas cavidades, também chamadas alvéolos	
Corrosão intragranular	É processada entre os grãos dos cristais do metal e quando os vergalhões sofrem tensões de tração podem fissurar ou fraturar perdendo a estabilidade.	

Fonte: (Gentil, 1996 apud Ribeiro, 2010 e adaptado pelo autor, 2017)

A ocorrência da corrosão acarreta na perda de seção do aço e conseqüentemente irá produzir compostos ferrosos, a famosa ferrugem. Com a produção da ferrugem acaba aumentando o volume do aço original, com isso o concreto sofre pressões internas, na qual não foi projetada, e irá ocorrer fissuras, lascamento e destacamento fazendo com que exista um caminho para os agentes agressivos chegarem até a armadura e assim acelerar o processo de corrosão.

Figura 8 - Esforços que levam a fissuração, lascamento e desprendimento do concreto.



Fonte: (Cascardo, 1997 apud Marques 2015)

A principal reação gerada do ferrugem ocorre devido a oxidação do ferro e redução do oxigênio. Ela é representada pela equação a seguir:



Sendo: Fe = ferro;

O_2 = oxigênio;

H_2O = água;

$Fe(OH)_3$ = hidróxido de ferro.

Uma das formas de evitar a corrosão é que a armadura esteja protegida dentro do componente estrutural (pilares, vigas e lajes), essa proteção se dá de forma química ou física.

A proteção química é efetuada através de soluções que tornam o meio em que a estrutura está inserida extremamente alcalino, com pH aproximadamente 12,5, deixando a armadura passiva para as reações de corrosão. Já a proteção física é realizada através do cobrimento do concreto, onde este deve ser executado com bastante eficiência para assim proteger o aço dos agentes agressivos externos.

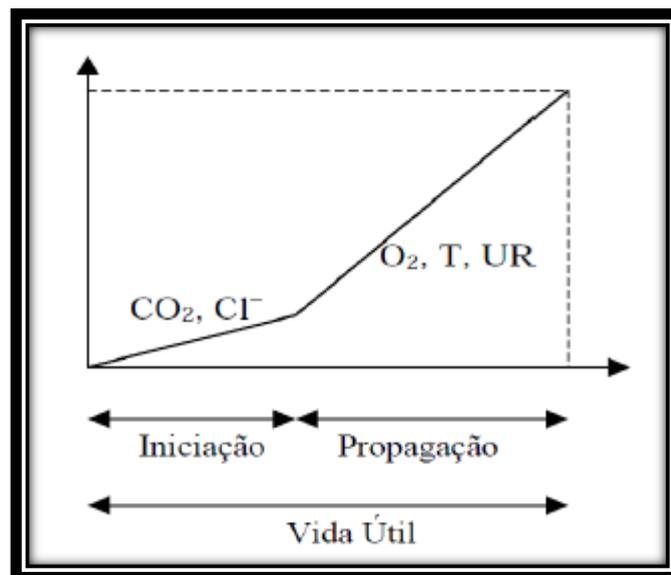
Os elementos estruturais mais favoráveis a apresentarem esse tipo de manifestação patológica, são aqueles em que é difícil executar o cobrimento estabelecido em projeto. Um sintoma comum é a formação de manchas de coloração vermelho-marrom-acastanhadas nas fissuras geradas pela corrosão. Essas características irão ajudar na inspeção e diagnóstico dos problemas estruturais. (Marques, 2015)

O processo corrosivo vem a calhar através de vários agentes agressivos, como: dióxido de carbono, sulfetos, nitritos, íons cloretos, fuligem entre outros. Esses agentes podem fazer parte da composição do concreto ou absorvido pelo mesmo, onde são responsáveis por dar início ao processo como também acelerar a corrosão e assim comprometer a vida útil da estrutura.

Os modelos matemáticos possuem um grau elevado de importância para a estimativa da vida útil das estruturas, alguns pesquisadores como Tuutti e Andrade criaram modelos para determinar/conceituar a vida útil.

O modelo de Tuutti mostra que o processo de degradação da estrutura é dividido em duas etapas: o de iniciação, onde acontece a penetração dos agentes agressivos no concreto, sem causar danos permanentes, e o de propagação, onde as manifestações patológicas dos danos revelam-se na estrutura de concreto armado.

Figura 9 - Modelo de vida útil para corrosão das armaduras – Modelo de Tuutti.

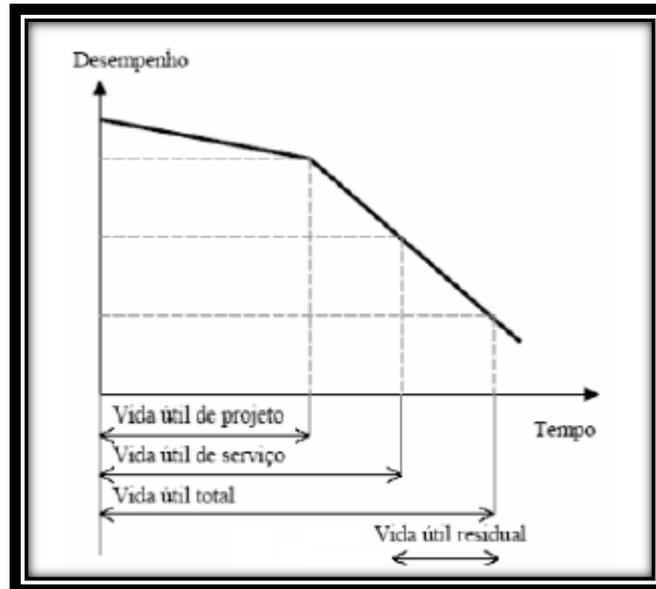


Fonte: (Tuutti, 1982 apud Pinto, 2016)

Baseado no modelo proposto acima, Helene (1993) elaborou diversos conceitos de vida útil, são: vida útil de projeto, de serviço, total e residual. A **vida útil de projeto** é o período de iniciação, onde os agentes agressivos de degradação penetram na estrutura sem causar danos excessivos, segundo a ABNT 6118:2014 a vida útil de projeto para estruturas convencionais é de 50 anos. A **vida útil de serviço** é a etapa onde os agentes começam a causar danos que são evidenciadas através das manifestações patológicas devido a corrosão do aço. A **vida útil total** corresponde ao tempo em que a estrutura vem a ruína sem aviso prévio e a **vida útil**

residual é o tempo entre a vida útil de serviço e total em que a estrutura desempenha duas funções após intervenções.

Figura 10 - Modelo de vida útil segundo Helene.



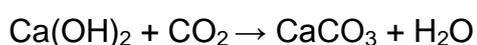
Fonte: (Helene, 1993 apud Pinto, 2016)

Desta forma, diversos são os métodos utilizados para prever a vida útil da estrutura, sendo eles: experiências anteriores, ensaios acelerados e abordagens probabilísticas e determinísticas.

2.3.1 Carbonatação do Concreto

A carbonatação se dá devido a diminuição do pH da solução dos poros que envolvem a armadura. Ela possui um efeito destrutivo ao concreto armado, que ocorre em todas as situações que o elemento for exposto à presença de agentes agressivos, sendo o principal deles o dióxido de carbono.

O processo de carbonatação ocorre quando o CO₂ da atmosfera penetra no concreto e reage, na presença de umidade, com o hidróxido de cálcio (CH) da solução ou outros componentes alcalinos, consumindo o CH e formando carbonato de cálcio. (Crauss, 2010). Essa reação é se dá da seguinte maneira:



O resultado dessa reação é a despassivação da armadura com a redução do pH, quando o pH permanecer alto é sinal que a área não foi carbonatada, ou seja, a

passivação da estrutura está mantida. A velocidade da carbonatação depende da umidade, da temperatura, da concentração de CO₂ no ar e de íons alcalinos disponíveis no concreto para reações de carbonatação.

A despassivação, e posterior corrosão das armaduras, ocorrem em ambientes com umidade relativa entre 60% e 98% ou quando o concreto está sujeito a ciclos de molhagem e secagem. (Helene, 1997 apud Crauss, 2010).

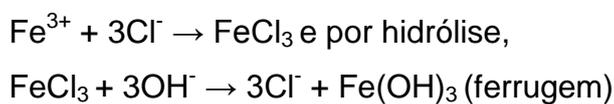
A carbonatação ao atingir a armadura provocará corrosão generalizada como se estivessem expostas ao ambiente sem a proteção devida, com o agravante de estarem confinadas e em contato com a umidade no concreto.

2.3.2 Ação dos Cloretos

Quando os agentes agressivos externos penetram e atingem a armadura do concreto armado, gerando a despassivação da armadura ocorre a corrosão. À medida que essa penetração aumenta, acelera o processo corrosivo da armadura.

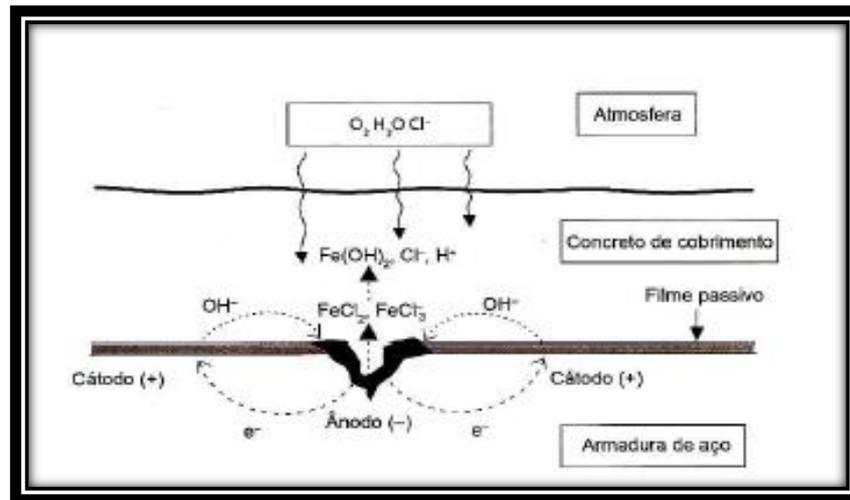
Um dos agentes externos são os íons cloretos (Cl⁻), estes podem ser incorporados involuntariamente ao concreto através do uso de aditivos, produtos de limpeza e até mesmo da água com alto teor de cloreto. Vale salientar que, na maioria dos casos, os agentes são oriundos do meio externo ao qual a estrutura está exposta.

A literatura diz que a corrosão acarretada pelos íons cloretos é uma das principais formas de corrosão sofrida pelo aço, pois os íons além de romper o filme passivador, ele atua como um catalisador das reações. A figura e as equações a seguir mostram o processo de corrosão por ataque de cloretos.



Na equação acima podemos perceber que o cloreto não é consumido, dessa forma sua ação possibilita grandes danos na estrutura.

Figura 11 - Esquema de corrosão por ataque de cloreto.



Fonte: (Baroghel-Bouny; Capra; Laurens, 2014 apud Pinto, 2016)

O mecanismo de corrosão eletroquímica devido à presença de cloretos é diferente do mecanismo envolvido em outros tipos de corrosão, como por exemplo, corrosão por carbonatação, pois a corrosão não ocorre de forma generalizada, mas na forma de pites por penetrarem através dos defeitos ou poros do filme oxido da armadura vindo a rompê-las de forma pontual. (Baroghel-Bouny; Capra; Laurens, 2014; Almeida E Sales, 2014 apud Pinto 2016)

Vários pesquisadores buscam determinar o teor máximo de íons cloretos para proteção da armadura de concreto. A ABNT NBR 12655:2006 admite um teor máximo de íons no concreto entre 0,05 a 0,40 % sobre a massa de cimento, essa variação depende do tipo de estrutura. Já a norma americana ACI 201 varia de 0,08 a 1% dependendo da estrutura e de sua exposição ao meio em que esta inserida. (Crauss, 2010)

O valor crítico de cloretos depende de alguns fatores, como a umidade relativa e o grau de carbonatação sofrida pelo material, pois, apesar da carbonatação propiciar uma redução dos diâmetros dos poros, esta reação reduz a relação $[Cl^-]/[OH^-]$ crítica devido a liberação de hidroxila. (Kousa Et Al., 2014; Ramezaniapour Et Al., 2014 apud Pinto 2016).

2.3.3 Resistividade Elétrica

A resistividade elétrica, como o próprio nome já designa, é a capacidade que o concreto possui em resistir à passagem da corrente elétrica, e está diretamente ligada com a velocidade do processo de corrosão das armaduras.

A resistividade elétrica é o inverso da condutividade elétrica, podendo ser definida como uma propriedade física do concreto que indica a sua resistência à passagem de corrente elétrica (Zaccardi et al., 2009). Além disto, é um parâmetro importante para indicar o grau e a distribuição de umidade no concreto, a presença de íons cloreto e a taxa de corrosão da armadura (Bertolini et al., 2004; Schiessl; Weydert, 1996 apud (Araujo & Panossian, Técnica, 2013).

As características físicas e químicas do concreto têm influência na sua resistividade, uma delas é a permeabilidade do concreto que determina o transporte dos agentes externos (como a água). Quanto maior for a penetração da água, maior será o grau de umidade do concreto e conseqüentemente menor será a sua resistividade.

Pesquisadores mostram que a resistividade do concreto está diretamente ligado com a taxa de corrosão da armadura, quando a resistividade é baixa há um aumento na taxa de corrosão.

Na literatura existem alguns critérios para avaliar a resistividade elétrica do concreto e existe diferença de um pesquisador para outro, a figura a seguir mostra isso.

Figura 12 - Critérios de avaliação da resistividade elétrica do concreto.

Valores de resistividade elétrica do concreto ($k\Omega.cm$)							Risco de corrosão
González et al. [2004]	Smith et al. [2004]	Morris et al. [2002]	Polder [2001], Cox et al. [1997], Broomfield et al. 1993 apud Broomfield [1997]	Feliú et al. [1996]	Browne; Geohagan apud CEB 192 [1989]; Browne [1982]	Langford e Broomfield 1987 apud Broomfield [1997]	
< 20	< 8	< 10	-	< 10	< 5	< 5	Muito alto (taxa severa)
20 a 50	8 a 12	10 a 300	< 10	10 a 100	5 a 10	5 a 10	Alto
			10 a 50		-	10 a 20	Moderado
50 a 100	> 12	> 300	50 a 100		10 a 20	> 20	Baixo

Fonte: (Araujo & Panossian, Técnica, 2013)

2.3.4 Potencial de Corrosão

A técnica do potencial de corrosão é um dos métodos eletroquímicos mais utilizados para monitorar e avaliar o comportamento das estruturas de concreto armado com relação à corrosão de armadura. É feita uma avaliação qualitativa do processo de corrosão, através de mapas de potencial de corrosão da estrutura em

estudo, os quais revelam as áreas mais prováveis onde o processo de corrosão está ativo. (RODRÍGUEZ et al., 1994 apud Silva, 2010)

A técnica para análise do potencial é baseada na análise, in loco, qualitativa de potenciais. O registro da diferença de potencial é devido à formação da pilha de corrosão, através do eletrodo constituído pelo aço/concreto (jacaré) e o eletrodo de referência que é responsável por manter o potencial estável. Onde os valores mais negativos indicam atividade corrosiva e os menos negativos sugerem a passivação da armadura.

O eletrodo de referência detecta o fluxo de corrente elétrica no processo de corrosão eletroquímica da armadura, desse modo a existência de corrosão é revelada pelos potenciais no voltímetro. Os eletrodos de referência mais usados são os de calomelano saturado – ECS (sistema Hg/Hg₂Cl₂ em solução saturada de KCl) e o de cobre/sulfato de cobre – ESC. (Helene e Matos, 1992 apud Silva, 2010)

Existem fatores que intervêm nas medidas e distorcem os valores obtidos no ensaio, são eles: elevada resistividade do concreto na camada superficial, alta compacidade do concreto e espessura de revestimento, existência de carbonatação, frentes de cloreto e alto teor de umidade relativa do concreto.

Os critérios de avaliação para as medidas de potencial em armaduras de concreto armado, segundo a ASTM C 876 (1999) são baseados no eletrodo de sulfato de cobre (ESC) e calomelano saturado (ECS), apresentados na tabela a seguir. A grande desvantagem do método é a falta de informação a respeito da velocidade de corrosão (I_{corr}) e a exigência da continuidade do contato elétrico sobre toda a área ser investigada. (Silva, 2010)

Tabela 3 - Probabilidade de corrosão através do potencial de corrosão E_{corr} .

Sulfato de cobre	Calomelano saturado	Probabilidade de corrosão
mais negativo que -350 mV	mais negativo que -276 mV	Superior a 90%
mais positivo que -200 mV	mais positivo que -126 mV	Inferior a 10%
de -200 a -350 mV	de -126 a -276 mV	Incerta

Fonte: (ASTM C 876, Cascudo, 2005 apud Silva 2010).

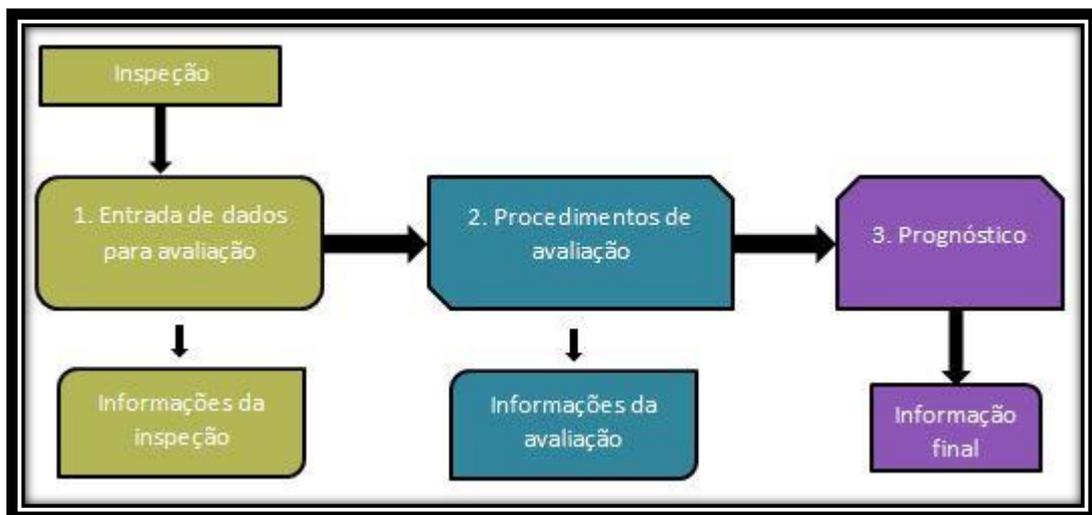
3. METODOLOGIA

3.1 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO E CÁLCULO INSERIDA NO SOFTWARE – EECC

Através do uso da ferramenta computacional e do estudo sobre corrosão foi possível executar um programa que possa implementar um método simplificado para avaliar o grau de corrosão nas estruturas de concreto armado.

O método simplificado é composto pela fase de inspeção, avaliação da estrutura e pelo prognóstico. A primeira fase é constituída pela inspeção preliminar, trabalho de escritório, agrupamentos de lotes e ensaios in situ. Já na segunda fase é realizado o diagnóstico da estrutura. Na terceira, e última fase, é realizado o prognóstico da estrutura, gerando um relatório final com a urgência de intervenção e uma classificação do nível de danos ao decorrer do tempo. Essa composição pode ser observada na figura a seguir.

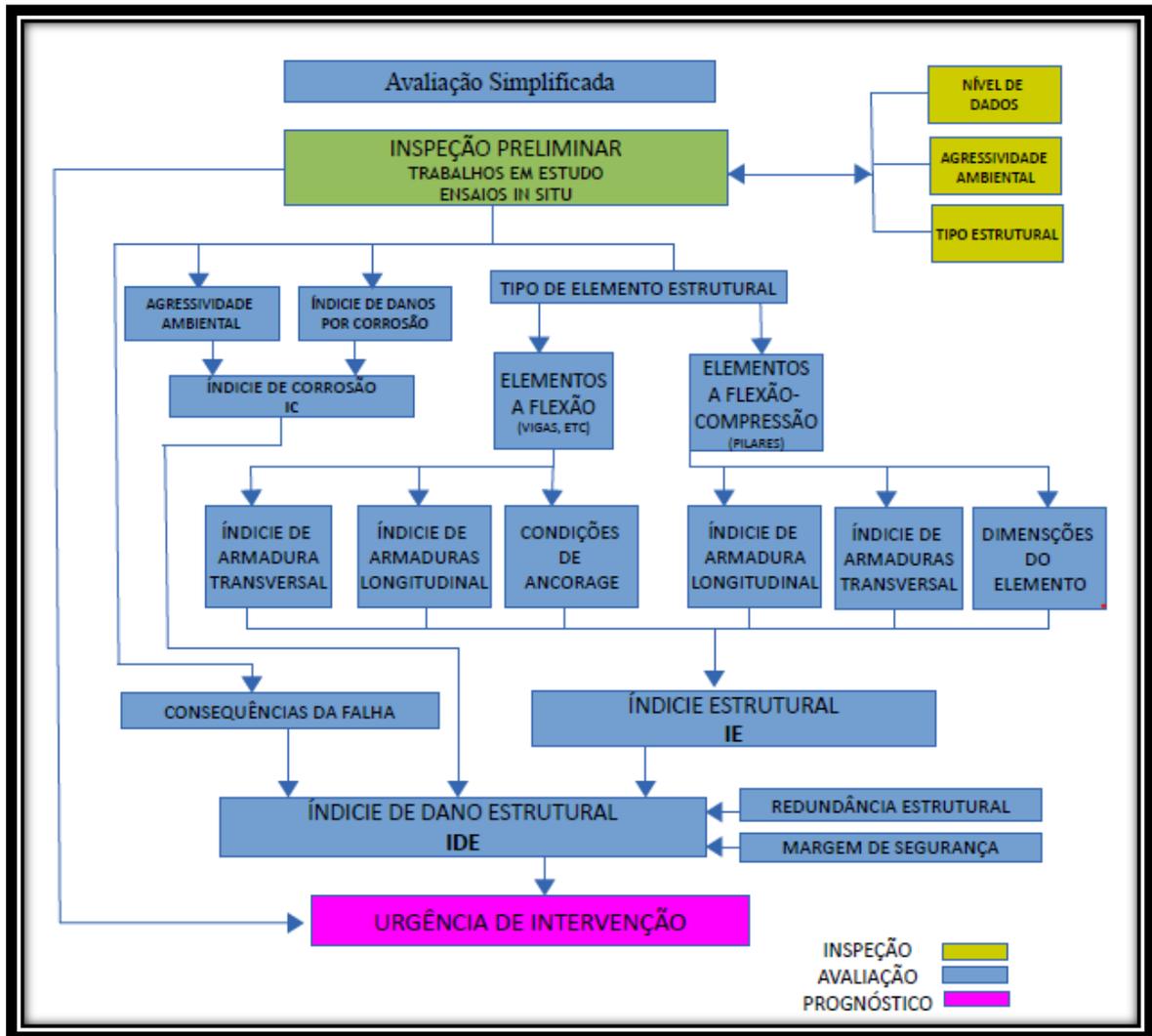
Figura 13 - Processo de avaliação da estrutura.



Fonte: (Manual Contecvet, adaptada pelo autor).

Esse método constitui-se através da avaliação de três critérios, são eles: a agressividade ambiental, o nível atual de danos presente no elemento estrutural e a tipologia da estrutura. Ambos os aspectos são calculados por meio de dois índices (Índice de corrosão-IC e Índice Estrutural-IE), com os valores desses dois índices será obtido o índice de danos estruturais que a partir daí define-se o grau e a urgência de intervenção da estrutura que está sendo inspecionada. A figura a seguir mostra o fluxograma do processo de avaliação completo.

Figura 14 - Fluxo do processo de avaliação.



Fonte: (Manual Contecvet, adaptado pelo autor).

No procedimento simplificado o diagnóstico consiste em uma classificação do estado atual da estrutura, com base no índice de dano estrutural (IDE), a partir dos dados obtidos na inspeção preliminar e nos ensaios in situ combinado com uma metodologia semi-empírica.

3.1.1 Índice de Corrosão - IC

O IC é calculado depois que analisarmos em qual classe de agressividade ambiental a estrutura está inserida e do valor obtido a partir dos indicadores de danos por corrosão (IDC).

O valor do IDC é determinado através da fórmula (1), onde os valores utilizados na fórmula são designados através de ensaios in situ e em laboratório.

A tabela 04 mostra os parâmetros utilizados para achar o valor e o nível de cada indicador.

Tabela 4 - Indicadores de corrosão.

Indicadores	Nível I	Nível II	Nível III	Nível IV
Profundidade de carbonatação [X_{C02}]	$X_{C02} = 0$	$X_{C02} < c$	$X_{C02} = c$	$X_{C02} > c$
Nível de cloreto [X_{Cl^-}]	$X_{Cl^-} = 0$	$X_{Cl^-} < c$	$X_{Cl^-} = c$	$X_{Cl^-} > c$
Fissuração por corrosão no cobrimento [W]	Sem fissuras	Fissuras < 0.3 mm	Fissuras > 0.3 mm	Fissuração generalizada e deslocando
Resistividade [ρ]	>1000	500 - 1000	100 - 500	< 100
Perda de sessão [\emptyset]	< 1%	1 – 5%	5 – 10%	> 10%
Intensidade de corrosão [I_{CORR}]	<0.1	0.1 – 0.5	0.5 - 1	>1

Fonte: (Manual Contecvet, adaptado pelo autor).

Onde: X_{C02} é a frente de carbonatação real em [m];

X_{Cl^-} é o limite de cloreto atual em [m];

C é o cobrimento do concreto em [m];

W é a largura da fenda em [mm];

ρ é a resistividade do concreto em [Ωm].

\emptyset é a perda de sessão em [%];

I_{CORR} é a intensidade de corrosão em [$\mu A/cm^2$].

Para achar a profundidade de carbonatação e o nível de cloreto foi realizado o ensaio in situ. O primeiro é feito com o uso de fenolftaleína e o segundo retira amostras do concreto com diferentes profundidades e essas amostras são encaminhadas para o laboratório onde será analisada e constatada se possui cloreto e sua porcentagem.

A fissuração por corrosão do cobrimento é feito com o uso de uma régua graduada em milímetros. Caso exista fissuração irá averiguar o tamanho e analisar em qual nível da tabela 04 a estrutura se enquadra.

A resistividade e a intensidade de corrosão são feitos ensaio com o uso de aparelhos sofisticados, nesse caso iremos utilizar o Gecor 8.

Depois de concluído todos os ensaios necessários para encontrar os valores de cada indicador, é calculado a média aritmética da soma de todos indicadores através da fórmula abaixo e assim achar o valor do IDC.

$$IDC = \frac{\sum_{i=1}^6 \text{Nível do indicador}}{6} \quad (1)$$

Em seguida é designado o índice de agressividade ambiental (AA), através da tabela 01 dado na norma europeia e citada neste trabalho. Uma vez designado o índice de AA, utilizaremos a tabela 05 para estimar o valor do fator de agressividade.

Tabela 5 - Valores do fator de AA.

Classe	XO	X1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3
Peso	0	1	1	2	3	2	3	4	2	3	4

Fonte: (Manual Contecvet, adaptado pelo autor).

Feito isso, teremos os valores para achar o índice de corrosão pela fórmula a seguir, onde é realizada a média aritmética da soma dos valores de IDC e AA.

$$IC = \frac{AA+IDC}{2} \quad (2)$$

Com o valor do IC calculado , fórmula (2), acha o nível de corrosão através da tabela 06 onde existe uma classificação que vai de 0 a 4 e de muito baixa a alta corrosão. Determinando assim o nível atual de corrosão em que a estrutura se encontra.

Tabela 6 - Índice de corrosão e nível de corrosão.

Nível de corrosão	Valor do IC
Corrosão muito baixa	0 - 1
Corrosão baixa	1 - 2
Corrosão média	2 - 3
Corrosão alta	3 - 4

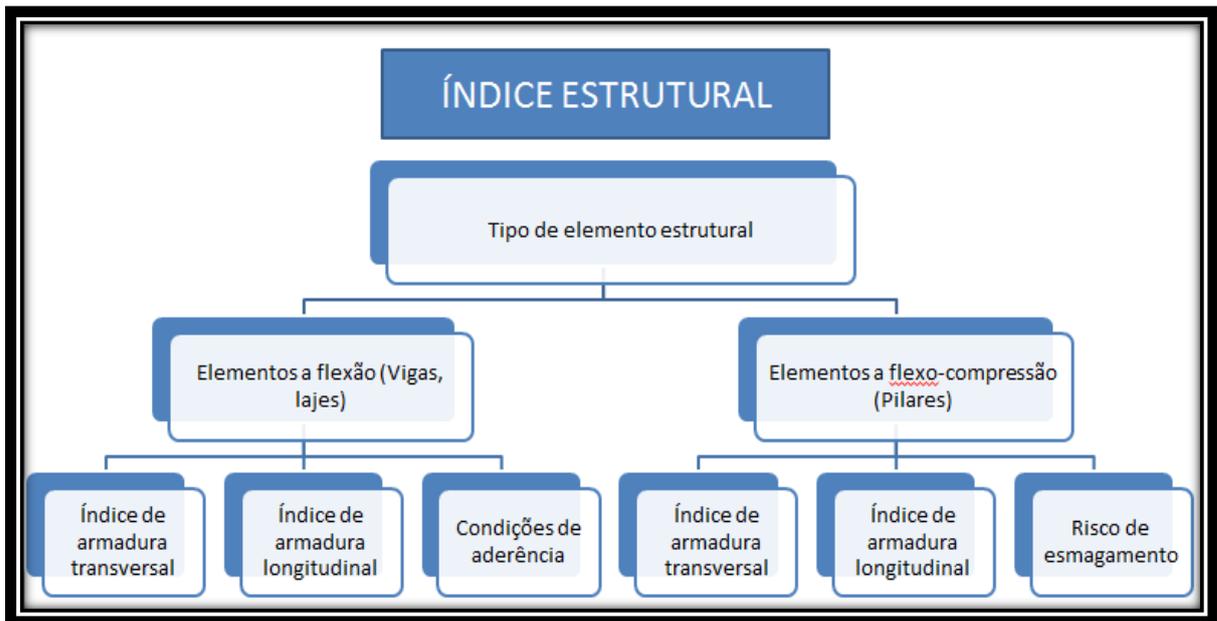
Fonte: (Manual Contecvet, adaptado pelo autor).

Na sequência será determinado, através de cálculos, o valor do índice estrutural (IE).

3.1.2 Índice Estrutural - IE

A classificação quanto a esse índice é estabelecida entre elementos submetidos à flexão (viga e lajes) e elementos submetidos à flexo-compressão (pilar), pois são vários os fatores que influenciam na consequência da corrosão, um deles é o tipo de seção.

Figura 15 - Fluxograma do índice estrutural.



Fonte: (Manual Contecvet, adaptado pelo autor).

- Elementos submetidos à flexão

Primeiro, o índice da seção transversal é determinado. Ele é composto pelo diâmetro da estrutura transversal e a distância entre os estribos. Esses parâmetros servem para localizar o índice de armadura transversal (IAT) com o auxílio da tabela a seguir.

Tabela 7 - Índice de armadura transversal para elementos na flexão.

\varnothing_t	Espaçamento dos estribos			Sem estribos
	$S_t \leq 0.5 d$	$S_t > 0.5 d$ (4 ramos)	$S_t > 0.5 d$	
> 8 mm	1	1	2	1
≤ 8 mm	2	2	3	

Fonte: (Manual Contecvet, adaptado pelo autor).

Onde: \varnothing_t é o diâmetro da armadura transversal em [mm];

d é a borda efetiva da seção em [mm];

S_t é o espaçamento entre estribos em [mm].

Em seguida, com o valor obtido do IAT, determina o índice estrutural dos elementos submetidos à flexão em função da armadura longitudinal. Para determinar esse índice iremos utilizar a tabela abaixo, onde decidiremos se existe uma quantidade de aço alta ou baixa. Para este fim, os limites de 1,0% podem ser usados para uma quantidade baixa e aqueles maiores que 1,5% para quantidades elevadas. No caso de ter valores intermediários, eles devem ser classificados de acordo com o critério do avaliador.

Tabela 8 - Índice de armadura longitudinal para elementos na flexão.

Índice de armadura transversal	Diâmetro principal da armadura (mm)			
	$\varnothing \geq 20$		$\varnothing < 21$	
	Alta quantidade	Baixa quantidade	Alta quantidade	Baixa quantidade
1	I	II	II	III
2	II	III	III	IV
3	III	IV	IV	IV

Fonte: (Manual Contecvet, adaptado pelo autor).

Na condição de que os dados necessários para o uso na tabela 7 e 8 não estejam disponíveis, ou seja, muito caro ou difícil de obter, existe outra classificação para estimar o índice estrutural (IE) em função do espaçamento da armadura principal e do tipo de feixe. A tabela a seguir mostra a classificação com flexão simplificada, sendo que o nível de precisão não será o mesmo.

Tabela 9 - Índice estrutural simplificado para elementos em flexão.

Armadura transversal	Viga plana ($h < b$)		Vigas de canto, lajes e vigas	
	Seção de apoio	Seção de centro vazio	Seção de apoio	Seção de centro vazio
Sem estribos	-	-	I	II
Alta densidade	II	III	III	IV
Baixa densidade	III	IV	IV	IV

Fonte: (Manual Contecvet, adaptado pelo autor).

- Elementos submetidos à flexo-compressão

O procedimento da flexo-compressão é similar ao da flexão, os passos são o mesmo alterando, apenas, alguns parâmetros das tabelas. Este índice tenta representar o maior ou menor risco de encurvamento da armadura longitudinal. A

tabela 10 indica os valores do índice de armadura transversal, com o valor mensurado iremos obter o índice estrutural.

Tabela 10 - Índice de armadura transversal para elementos em flexo-compressão.

ϕ_t	$\lambda = \text{espaçamento dos estribos} / \phi \text{ das barras principais}$	
	$\lambda \leq 10$	$\lambda > 10$
$> 8 \text{ mm}$	1	2
$\leq 8 \text{ mm}$	2	3

Fonte: (Manual Contecvet, adaptado pelo autor).

Onde λ é a divisão do espaçamento entre os estribos pelo diâmetro da barra principal.

Com a obtenção do IAT, iremos obter o índice estrutural através da tabela 11. Essa tabela leva em conta a possibilidade de deslocamento (estourar) do revestimento devido à corrosão das armaduras.

Devido a essa sensibilidade os seguintes parâmetros são definidos: o espaçamento entre as barras verticais e a relação entre a seção reduzida e a seção bruta, onde pode ser obtida pela equação 3.

$$\eta = \frac{A_0}{A} \quad (3)$$

Onde: η é o índice de explosão, relação entre as seções;

A_0 é a seção reduzida;

A é a seção bruta

Com o valor obtido da equação 3 iremos utiliza-lo na tabela 11 para estimar o índice de armadura longitudinal de elementos a flexo-compressão e em seguida obter o valor do índice estrutural.

Tabela 11 - Índice de armadura longitudinal para elementos em flexo - compressão.

Índice de armadura transversal	$\eta \geq 0.75$		$\eta < 0.75$	
	Espaçamento		Espaçamento	
	$> 5 \phi$	$< 5 \phi$	$> 5 \phi$	$< 5 \phi$
1	I	I	II	III
2	I	II	III	IV
3	III	IV	IV	IV

Fonte: (Manual Contecvet, adaptado pelo autor).

Assim como a flexão, esse também possui a classificação simplificada para obter o índice estrutural simplificado para elementos que sofrem a flexo – compressão, como pode ser visto na figura 12.

Tabela 12 - Índice estrutural simplificado para elementos em flexo-compressão.

Armadura transversal	Dimensão lateral mínima (a)			
	a > 400 mm		a ≤ 400 mm	
-	Barras verticais com alto espaçamento o	Barras verticais com baixo espaçamento o	Barras verticais com alto espaçamento o	Barras verticais com baixo espaçamento o
Estribos com baixo espaçamento	I	II	III	IV
Estribos com alto espaçamento	II	III	IV	IV

Fonte: (Manual Contecvet, adaptado pelo autor).

Diante dos valores do índice de corrosão (IC) e do índice estrutural (IE) podemos obter o valor do índice de dano estrutural, mas antes é preciso decidir as consequências da falha, sendo ela leve ou importante (grave). Elas são consideradas leves quando o risco de vida e/ou danos significativos a estruturas forem baixos, caso não seja ela é considerada importante.

3.1.3 Índice de Dano Estrutural – IDE

O índice de dano estrutural é estimado a partir da relação do IC e do IE, esse índice pode ser classificado como: desprezível (D), médio (M), grave (S) e muito grave (MS).

A partir da classificação do IDE o método simplificado gera a urgência de intervenção da estrutura através de valores quali-quantitativos, como pode ser visto na tabela a seguir.

Tabela 13 - Urgência de intervenção

IDE	Urgência de intervenção
Desprezível	> 10 anos
Médio	5 - 10 anos
Grave	2 - 5 anos
Muito Grave	0 - 2 anos

Fonte: (Manual Contecvet, adaptado pelo autor).

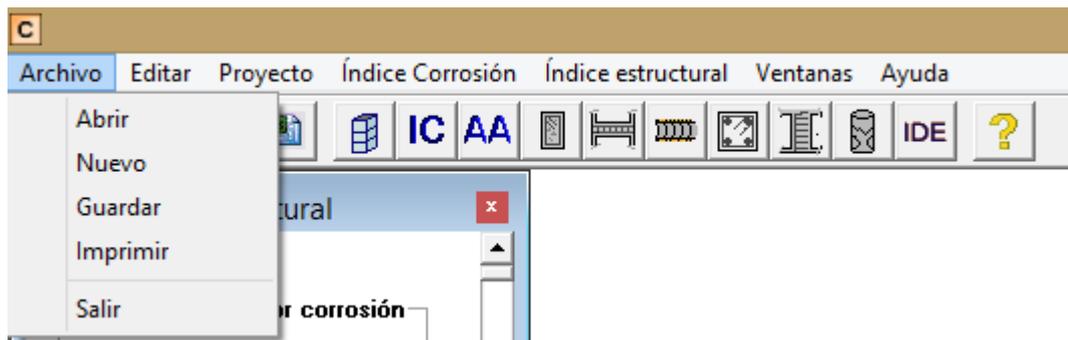
A urgência de intervenção está ligada diretamente com o índice de dano estrutural, quando o índice é considerado desprezível recomenda-se realizar uma inspeção ao passar um período de 10 anos. Já para a estrutura classificada com o dano grave é necessário fazer uma avaliação detalhada no prazo indicado na tabela 13 e para estruturas com o dano estrutural muito grave é aconselhável fazer uma avaliação mais detalhada e um reparo imediato da estrutura.

3.2 O SOFTWARE – EECC (MANUAL DE USO)

O menu principal do programa é dividido em sete menus, são eles:

- **Menu Arquivo:** é composto pelas abas: abrir, novo, salvar, imprimir e sair.

Figura 16 - Menu arquivo

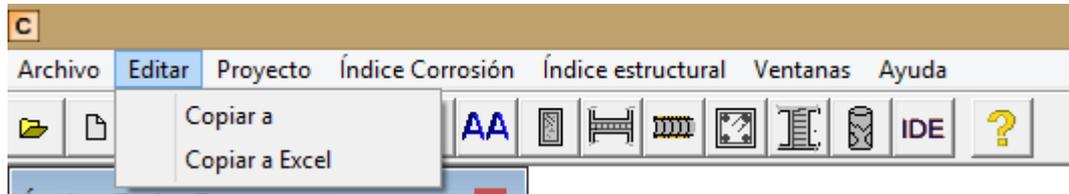


Fonte: (Autor, 2017)

- **Abrir:** permite abrir um arquivo de um projeto anterior com extensão .txt;
- **Novo:** permite criar um novo projeto;
- **Salvar:** permite salvar os dados do projeto;
- **Imprimir:** permite imprimir o relatório ou dados do projeto;
- **Sair:** finalizar o programa.

- **Menu Editar:** é composto por duas abas, são elas: copiar para e copiar para Excel.

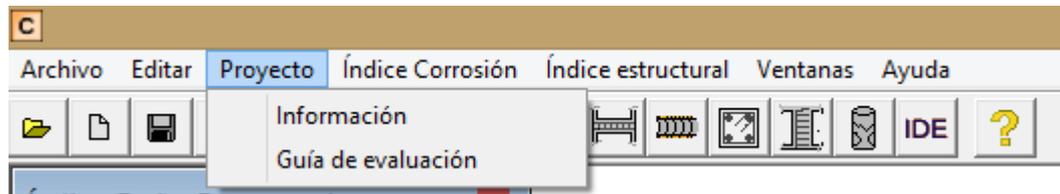
Figura 17 - Menu editar.



Fonte: (Autor, 2017)

- **Copiar:** permite copiar dados do projeto para área de transferência do Windows;
 - **Copiar para Excel:** permite criar um relatório no Excel do projeto.
- **Menu Proyecto:** é composto pelas abas informações e guia de avaliação.

Figura 18 - Menu projeto



Fonte: (Autor, 2017)

- **Informações:** exibe uma janela para introduzir as informações gerais do projeto;

Figura 19 - Ficha de descrição do projeto

The image shows a software window titled "Ficha de descripción del proyecto" with a close button (X) in the top right corner. The window is divided into two main sections:

1. Datos generales del proyecto

- Nombre proyecto: [Text input field]
- Ubicación: [Text input field]
- Fecha: [Text input field]
- Responsable: [Text input field]

Buttons for "Aceptar" and "Cancelar" are located to the right of the first section.

2. Datos generales de la estructura

Tipo de estructura

- Edificación
- Puente
- Muelle
- Muro de Contención
- Tanque de almacenamiento
- Plataforma petrolera
- Otro

Descripción básica de los componentes

[Text area with scrollbars]

Fecha de construcción: [Text input field]

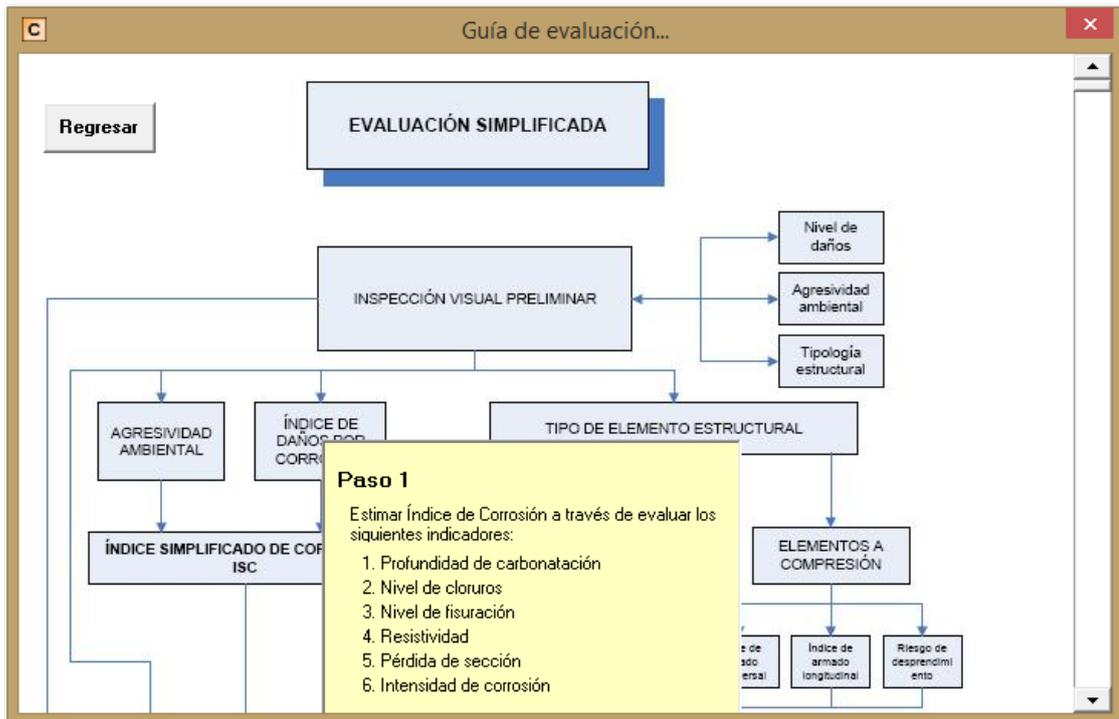
Uso general de la estructura

[Text area with scrollbars]

Fonte: (Autor, 2017)

- **Guia de avaliação:** exibe uma janela com o fluxograma de avaliação simplificada. Clicando nos quadros irá descrever o passo a passo e mostrar a ordem de avaliação.

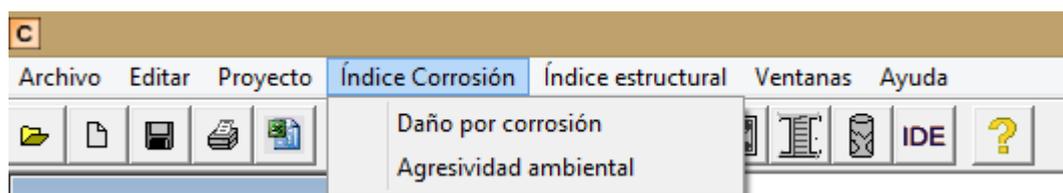
Figura 20 - Guia de avaliação simplificada



Fonte: (Autor, 2017)

- **Menu Índice de Corrosão:** é composto pelas abas referentes aos danos por corrosão e pela agressividade ambiental.

Figura 21 - Menu Índice de Corrosão



Fonte: (Autor, 2017).

- **Danos por corrosão:** exhibe uma janela que permite estimar o índice de corrosão.

Figura 22 - Indicadores do índice de corrosão

Indicador	Nivel I	Nivel II	Nivel III	Nivel IV	Valor
Profundidad de carbonatación [X _{CO2}]	X _{CO2} = 0	X _{CO2} < c	X _{CO2} = c	X _{CO2} > c	
Nivel de cloruros [X _{Cl}]	X _{Cl} = 0	X _{Cl} < c	X _{Cl} = c	X _{Cl} > c	
Fisuración por corrosión en el recubrimiento [w]	Sin fisuras	Fisuras < 0.3 mm	Fisuras > 0.3 mm	Fisuración generalizada y estallidos	
Resistividad (Ωm) [ρ]	> 1000	500 - 1000	100 - 500	< 100	
Pérdida sección [Ωm]	< 1%	1 - 5 %	5 - 10 %	> 10 %	
Intensidad de corrosión [μA/cm ²] [I _{CORR}]	< 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1	> 1	

Indicadores Índice de Corrosión

IDC

Calcular

Cerrar

Cancelar

Fonte: (Autor, 2017)

- **Agressividade ambiental:** exhibe uma janela que permite estimar o índice de agressividade ambiental.

Figura 23 - Índice de agressividade ambiental

Designación	Descripción del ambiente
1. Sin riesgo de corrosión	
XO	Para hormigones en masa, todos los ambientes excepto donde hay acciones de deshielo, abrasión o ataques químicos
2. Corrosión inducida por carbonatación	
XC1	Seco o permanentemente húmedo
XC2	Húmedo, raramente seco.
XC3	Humedad moderada.
XC4	Ciclos húmedos y secos.
3. Corrosión inducida por cloruros de origen distinto del marino.	
XD1	Moderadamente húmedo.
XD2	Húmedo raramente seco.
XD3	Ciclos húmedos y secos.
4. Corrosión inducida por cloruros de origen marino.	
XS1	Exposición a la acción de la sal contenida en el aire pero no en contacto con el agua de mar.
XS2	Permanentemente sumergidas
XS3	Zonas expuestas a la acción de la marea o salpicaduras.

Índice de Agresividad Ambiental

Explicación

IAA

Peso

Clase

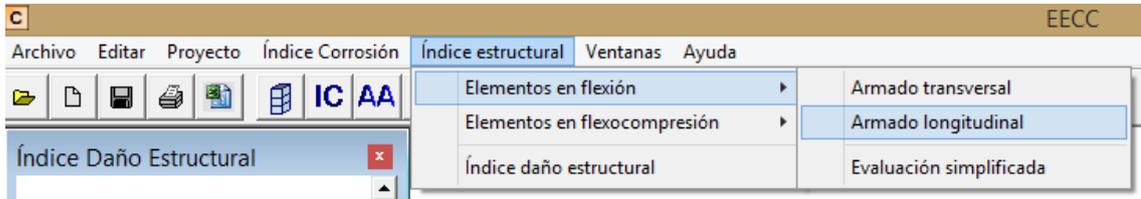
Aceptar

Cancelar

Fonte: (Autor, 2017)

- **Menu Índice Estructural:** é composto pelas abas dos elementos que sofrem flexão e flexo-compressão, e suas respectivas armaduras e avaliação simplificada, e pelo índice de dano estrutural.

Figura 24 - Menu índice estrutural



Fonte: (Autor, 2017)

- **Elementos submetidos à flexão:** este item é subdividido em três comandos, são eles:
 - **Armadura transversal:** exhibe uma janela para estimar o índice de armadura transversal.

Figura 25 - Índice de armadura transversal para elementos à flexão.

Φ_t	Cercos			Sin cercos
	$s_t \leq 0.5d$	$S_t > d$	$s_t > 0.5d$	
$> 8 \text{ mm}$	1	1	2	1
$\leq 8 \text{ mm}$	2	2	3	

IAT

Fonte: (Autor, 2017)

- **Armadura longitudinal:** exhibe uma janela para estimar o índice de armadura longitudinal.

Figura 26 - Índice de armadura longitudinal para elementos à flexão.

Índice de Armado Transversal	Diámetro principal del armado (mm)			
	Φ ≥ 20		Φ < 20	
	Alta cuantía	Baja cuantía	Alta cuantía	Baja cuantía
1	I	II	II	III
2	II	III	III	IV
3	III	IV	IV	IV

IAL

Aceptar Cancelar

Fonte: (Autor, 2017)

- **Avaliação simplificada:** exhibe uma janela para estimar, de maneira simplificada, o índice estrutural. É utilizado quando não possui algum dado da armadura transversal e longitudinal.

Figura 27 - Índice simplificado de avaliação para elementos à flexão.

Armado Transversal	Vigas planas (h < b)		Vigas de canto y viguetas	
	Sección de apoyo	Sección de vano	Sección de apoyo	Sección de vano
Sin cercos	---	---	I	II
Alta densidad de cercos	II	III	III	IV
Baja densidad de cercos	III	IV	IV	IV

Índice simplificado

Aceptar Cancelar

Fonte: (Autor, 2017)

- **Elementos submetidos à flexo-compressão:** este item é subdividido em três comandos, são eles:
 - **Armadura transversal:** exibe uma janela para estimar o índice de armadura transversal.

Figura 28 - Índice de armadura transversal para elementos à flexo-compressão.

\varnothing_t	$\lambda = \text{espaciado de cercos} / \varnothing \text{ armadura principal}$	
	$\lambda \leq 10$	$10 < \lambda$
> 8	1	2
≤ 8	2	3

IAL

Aceptar

Cancelar

Fonte: (Autor, 2017)

- **Armadura longitudinal:** exibe uma janela para estimar o índice de armadura longitudinal.

Figura 29 - Índice de armadura longitudinal para elementos à flexo-compressão.

Índice de armado transversal	D = Índice de desprendimiento			
	D \geq 0.75		D < 0.75	
	Espaciado		Espaciado	
	$> 5 \varnothing$	$< 5 \varnothing$	$> 5 \varnothing$	$< 5 \varnothing$
1	I	I	II	III
2	II	II	III	IV
3	III	IV	IV	IV

IAL

Aceptar

Cancelar

Fonte: (Autor, 2017)

- **Avaliação simplificada:** exibe uma janela para estimar, de maneira simplificada, o índice estrutural. É utilizado quando não possui algum dado da armadura transversal e longitudinal.

Figura 30 - Índice simplificado de avaliação para elementos á flexo-compressão.

Armadura transversal	Dimensión mínima del pilar			
	a > 400 mm		a <= 400 mm	
	Baja cuantía longitudinal	Alta cuantía longitudinal	Baja cuantía longitudinal	Alta cuantía longitudinal
Alta densidad cercos	I	II	III	IV
Baja densidad cercos	II	III	IV	IV

Índice simplificado

Aceptar

Cancelar

Fonte: (Autor, 2017)

- Índice de dano estrutural: exibe uma janela para estimar o índice de dano estrutural. Nessa mesma janela é necessário estimar a consequência da falha para saber o grau do IDE e em seguida clicar em avaliar. Outra maneira de achar o IDE, de forma indireta, é clicando no botão tabela onde ele irá mostrar uma tabela para a estimativa do índice de danos estruturais através do valor do IC e do IE.

Figura 31 - Estimativa do índice de dano estrutural.

Fonte: (Autor, 2017)

Figura 32 - Estimativa do índice estrutural de forma indireta.

Valor IC
 Índice estructural | | | | | | | || I | | II | | III | | IV | |
| Leves | Import | Leves | Import | Leves | Import | Leves | Import |
0 - 1	D	D	D	D	D	M	M	M
1 - 2	M	M	M	M	M	S	M	S
2 - 3	M	S	M	S	S	MS	S	MS
3 - 4	S	MS	S	MS	S	MS	MS	MS

 The dialog also includes the same input fields and buttons as in Figure 31, plus an upward arrow button on the right side of the table."/>

Fonte: (Autor, 2017)

- **Menu Janela:** é composto pela janela IDE.

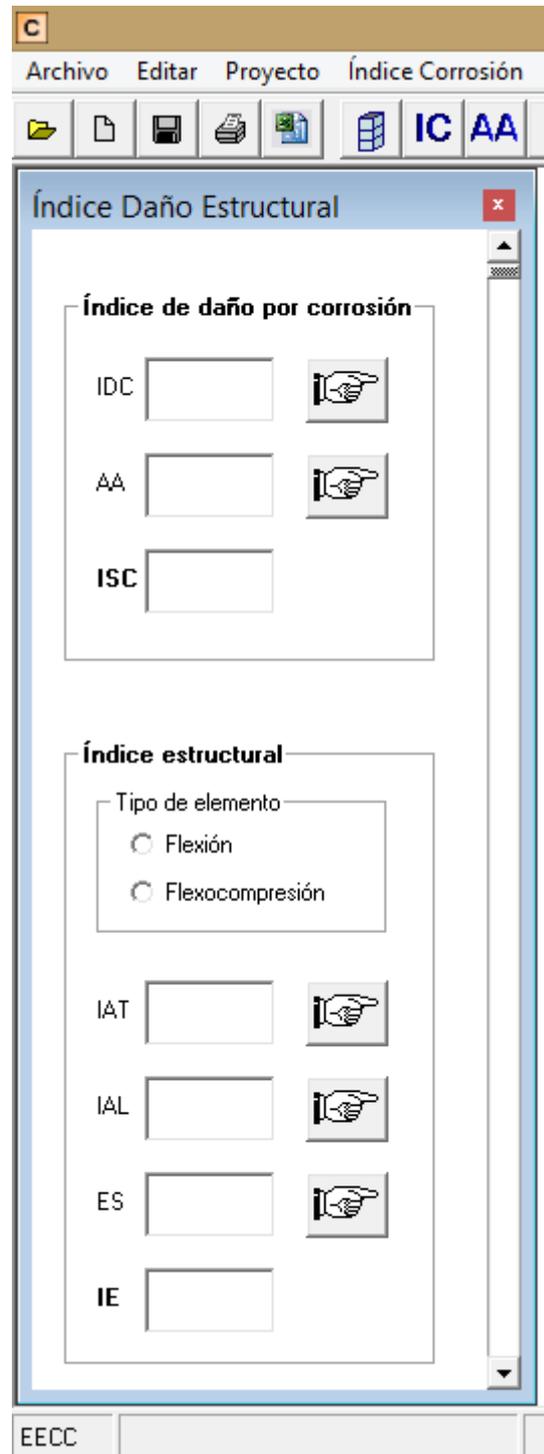
Figura 33 - Menu Janela.



Fonte: (Autor, 2017)

- **Janela IDE:** exhibe uma janela com o resumo de todos os índices e com botões que abrem diferentes janelas para estimar os índices.

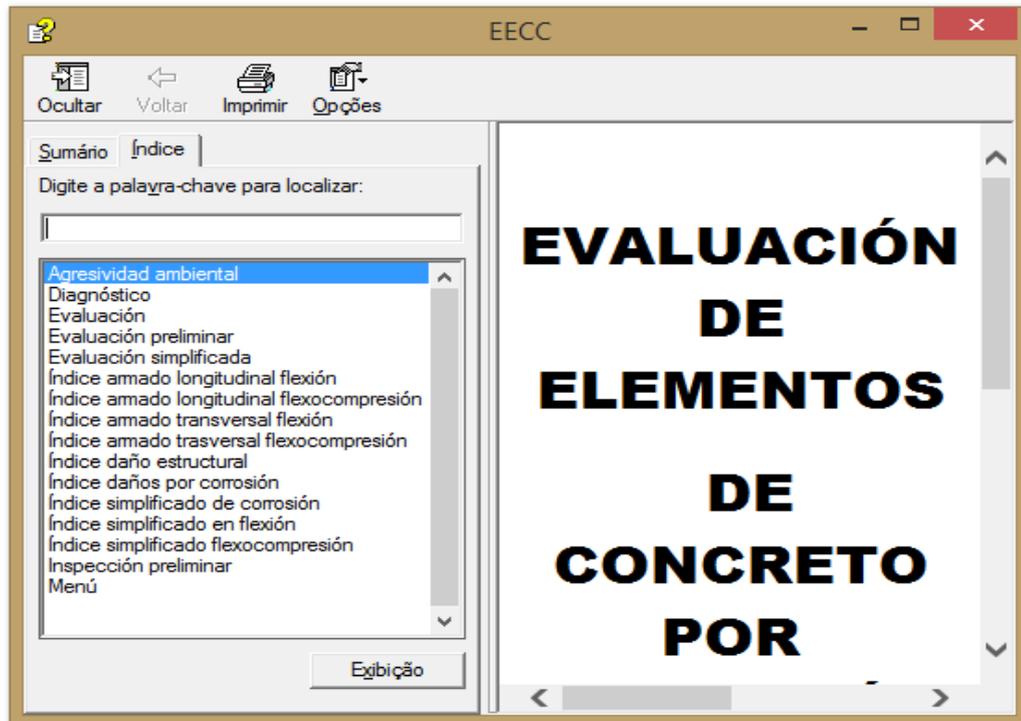
Figura 34- Janela IDE.



Fonte: (Autor, 2017)

- **Menu Ajuda:** é composto pelas abas conteúdo, manual pdf e sobre.
 - **Conteúdo:** apresenta ajuda ao programa;

Figura 35 - Ajuda ao programa



Fonte: (Autor, 2017)

- **Manual:** apresenta ajuda ao programa em formato pdf;

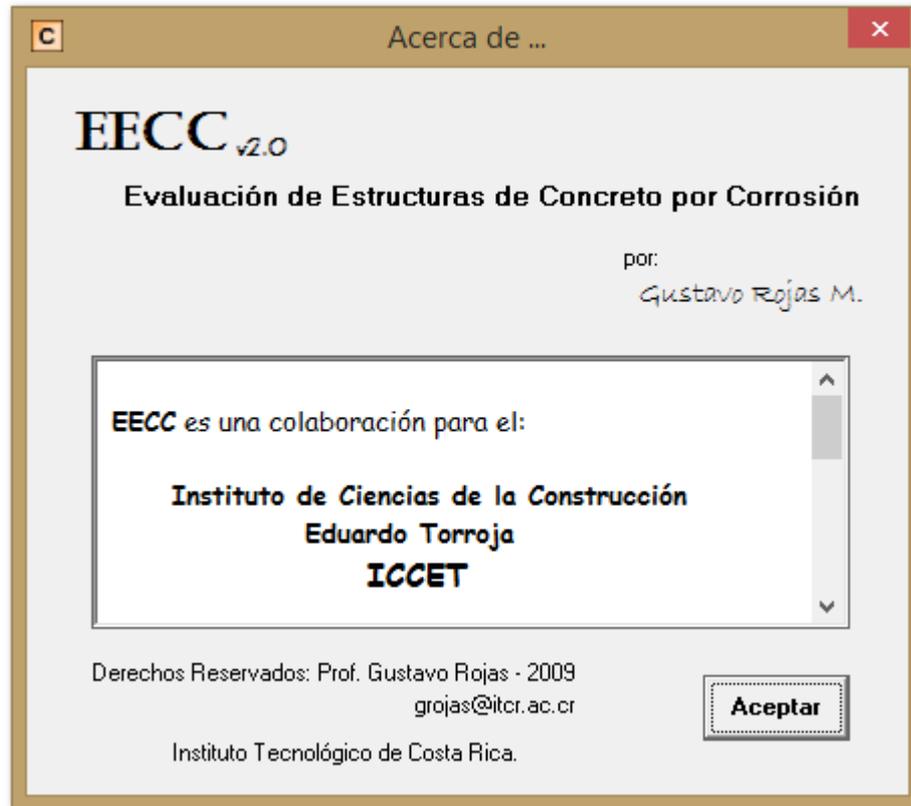
Figura 36 - Manual em pdf.



Fonte: (Autor, 2017)

- **Sobre:** exhibe a descrição sobre o autor e sobre o programa.

Figura 37 - Descrição do programa



Fonte: (Autor, 2017)

3.3 ESTUDO DE CASO

3.3.1 Inspeção Visual Preliminar

A inspeção visual preliminar consistiu de uma verificação, a olho nu, em um dos pilares exposto da quadra poliesportiva do Instituto Federal de Sergipe – Campus Aracaju, a localização da estrutura pode ser vista na figura 38.

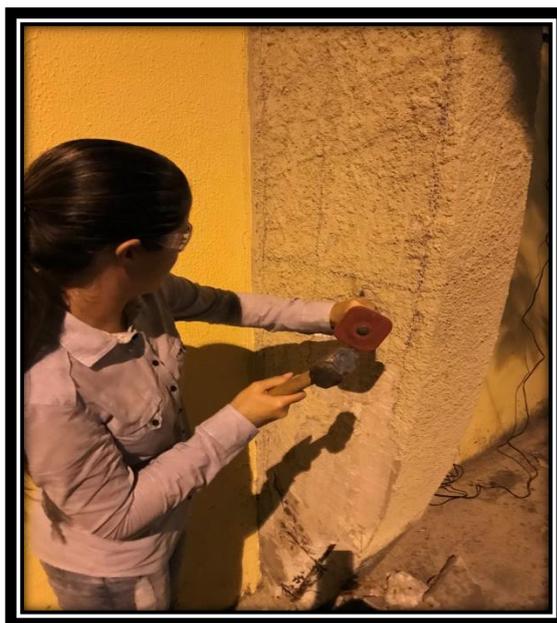
Figura 38 - Localização do pilar na quadra poliesportiva - IFS.



Fonte: (Autor, 2017)

Para realização da inspeção foi necessário retirar a proteção superficial do concreto, que era composta de chapisco e pintura, para assim serem identificadas as anomalias existentes. Como o exame visual se limita, somente, a análise superficial foi necessário suceder com os ensaios que avaliam a parte interna da estrutura para obtenção da profundidade de carbonatação, diâmetro das armações e suas disposições, espessura de cobrimento, nível de cloreto, resistividade elétrica, perda de seção e intensidade de corrosão.

Figura 39 - Preparação da superfície para fazer a inspeção e realização dos ensaios.



Fonte: (Autor, 2017)

3.4 ENSAIOS EM CAMPO E EM LABORATÓRIO

Após a inspeção foi realizado alguns ensaios não destrutivos e semi destrutivos para dar continuidade ao estudo. Para alguns ensaios foram utilizado aparelho sofisticado e outros mais simples, para assim coletar os dados necessário para o funcionamento correto do software.

- Diâmetro e disposição das armaduras e espessura – Pacômetria

Através do uso do pacômetro, após a preparação da superfície, foi possível detectar a bitola do aço, fazer um croqui, na própria estrutura, de disposição das armaduras da área em estudo e identificar a espessura do revestimento.

Figura 40 - Aparelho técnico – pacômetro.



Fonte: (Autor, 2017)

- Ensaio de profundidade de carbonatação – fenolftaleína

O ensaio de carbonatação é um ensaio simples e é um importante indicador de corrosão. É um ensaio semi destrutivo e após a execução do ensaio necessita-se de reparos na estrutura. Como o próprio nome já diz, ele mede a profundidade de carbonatação através do uso da fenolftaleína. A fenolftaleína foi aplicada no orifício que foi aberto para ser usado pelo aparelho Gecor 8. A substância química quando aplicada no concreto ele pode se manter incolor ou vermelho carmim, vai depender se a superfície exposta é ácida ou básica, ou seja, do seu pH (12,6 ~ 13,5 – sem carbonatação e 8,5 – com carbonatação).

Figura 41 - Local onde foi realizado o ensaio.



Fonte: (Autor, 2017)

- **Nível de cloreto**

Para determinar o nível de cloreto existente no concreto, foi necessária a extração de material pulverizado em diferentes profundidades com o auxílio da furadeira. Nesse estudo foi extraído três profundidades em apenas um ponto (sendo eficaz a extração em vários pontos, mas por falta de tempo só foi realizado a extração em um ponto), onde as amostras foram enviadas para o ITPS – Instituto Tecnológico de Pesquisa de Sergipe para análise da profundidade de penetração do cloreto no concreto.

Figura 42 - Extração e coleta das amostras.



Fonte: (Autor, 2017)

- Potencial de corrosão, taxa de corrosão e resistividade elétrica

Após a preparação da superfície, da pacômetria e da saturação do pilar foi realizado os ensaios com o uso do aparelho Gecor 8, onde o valor do potencial de corrosão é medido através da diferença de potencial do eletrodo de referência que é colocado em contato com o concreto, por meio do sensor A, e da barra de aço através de um terminal do equipamento (jacaré) fixado na armadura. Já os valores da taxa de corrosão e a resistividade são medidos através do mapeamento de pontos, de maneira similar, e com o uso do sensor B. Vale salientar que o software do equipamento gera gráficos que serão expostos no anexo.

Tabela 14 - Equipamentos utilizados nos ensaios.

Gecor 8	 A photograph showing the Gecor 8 equipment kit. It includes a main control unit with a screen and buttons, a carrying case, a circular sensor, a handheld device, and various cables and connectors.
Sensor A	 A close-up photograph of a person's hand holding a black circular sensor (Sensor A) against a concrete surface. The sensor is placed on a blue protective mat. A yellow label is attached to the sensor.
Sensor B	 A photograph showing a person using a handheld device (Sensor B) to measure a concrete surface. The device is connected to a cable and is being held against the concrete.

Fonte: (Autor, 2017)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

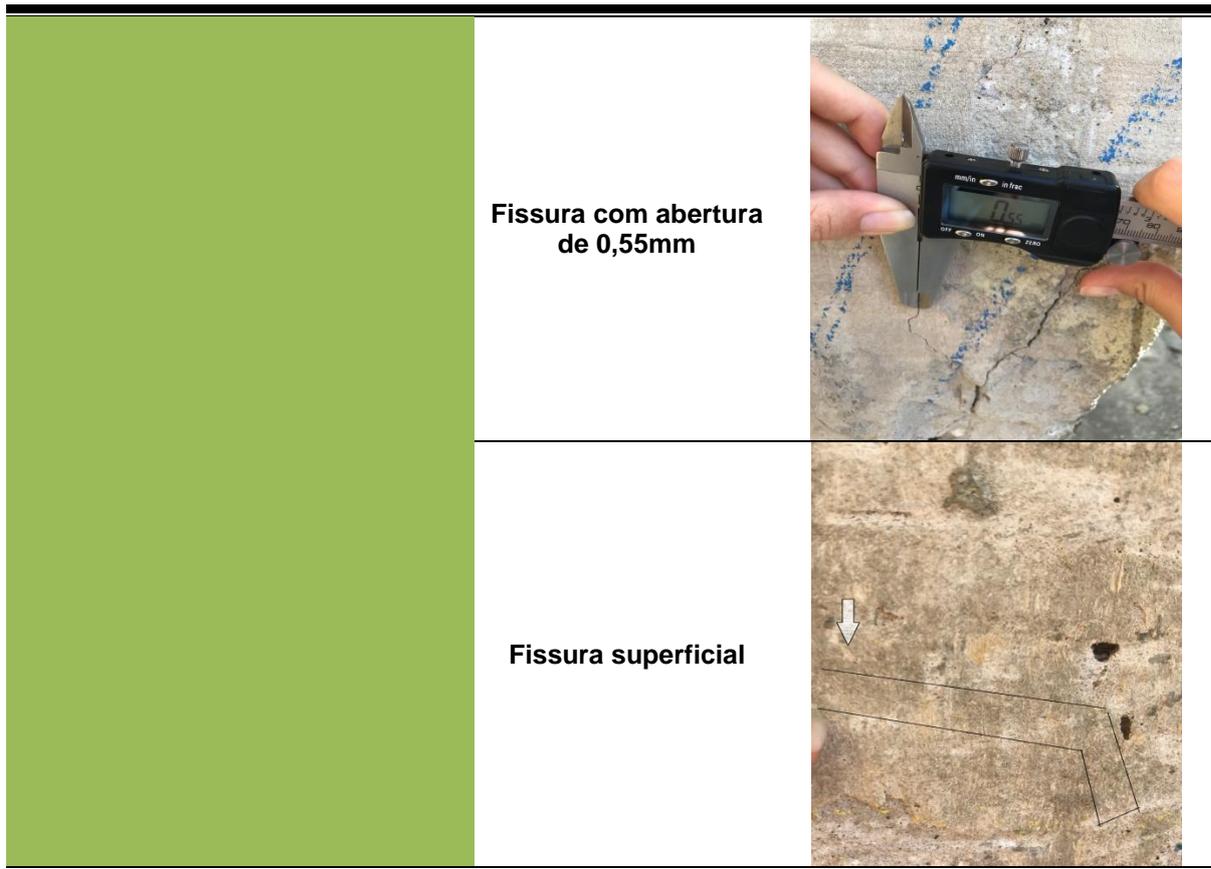
4.1 INSPEÇÃO VISUAL

A inspeção visual de um dos pilares da quadra poliesportiva do IFS, localizado na parte externa e ao lado do campo de futebol, apontou um estado mediano de degradação da estrutura. Foi constatada, na parte inferior do pilar, a presença de concreto desagregado tornando a armadura exposta e causando o avanço da corrosão.

Também nessa parte foi observada a presença de fissuras verticais, com variações entre 0,55mm a 1,84mm, cuja causa provável seria o aumento do volume do aço devido ao processo de corrosão gerando a ferrugem. A mais ou menos um metro acima da armadura exposta foi visualizado uma pequena fissura, sendo fundamental a utilização de uma lupa de aumento pra verificar a existência da mesma.

Tabela 15 - Anomalias detectas na inspeção visual.

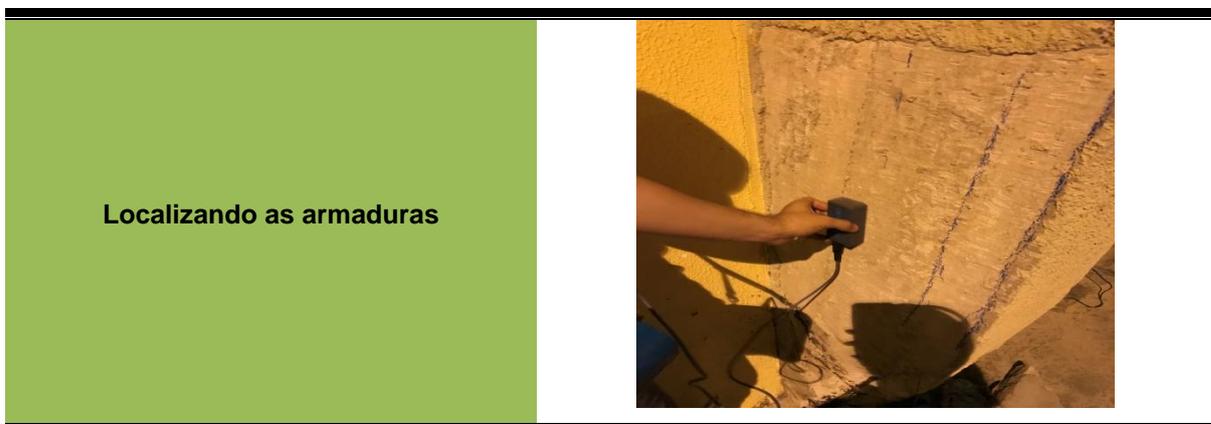
<p>Corrosão</p>		
<p>Fissuras</p>	<p>Fissura com abertura de 1,84 mm</p>	

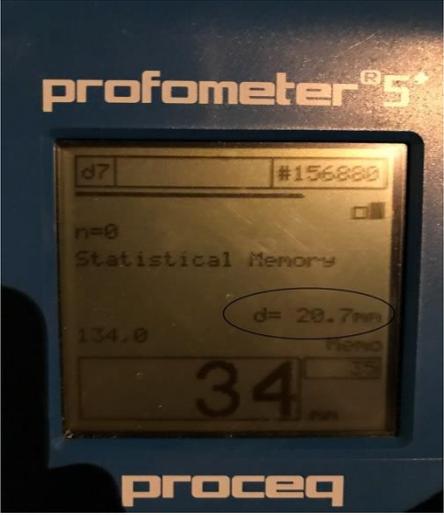
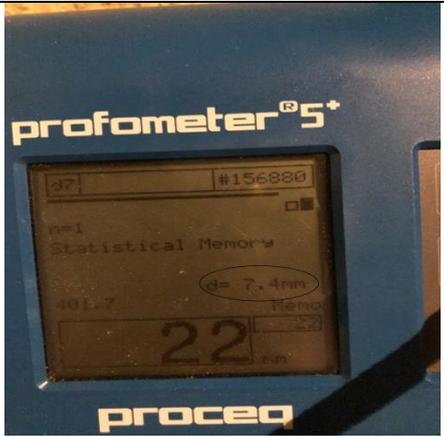


Fonte: (Autor, 2017)

É na inspeção visual que também é identificada a tipologia da estrutura através do projeto estrutural, na ausência do mesmo é necessário fazer o uso de equipamentos técnicos para obtenção dessas informações. E esse foi o nosso caso, pois a instituição não possuía os projetos. Com o uso do pacômetro foi possível identificar a disposição das armaduras, a bitola e a espessura do cobrimento.

Tabela 16 - Dados coletados com o uso do pacômetro.



									
<p>Disposição das armaduras</p>									
<p>Bitola – armadura principal</p>	 <table border="1"><tr><td>d7</td><td>#156880</td></tr><tr><td>n=6</td><td>Statistical Memory</td></tr><tr><td>134.8</td><td>d= 28.7mm</td></tr><tr><td>34</td><td>mm</td></tr></table>	d7	#156880	n=6	Statistical Memory	134.8	d= 28.7mm	34	mm
d7	#156880								
n=6	Statistical Memory								
134.8	d= 28.7mm								
34	mm								
<p>Bitola - estribos</p>	 <table border="1"><tr><td>d7</td><td>#156880</td></tr><tr><td>n=1</td><td>Statistical Memory</td></tr><tr><td>481.7</td><td>d= 7.4mm</td></tr><tr><td>22</td><td>mm</td></tr></table>	d7	#156880	n=1	Statistical Memory	481.7	d= 7.4mm	22	mm
d7	#156880								
n=1	Statistical Memory								
481.7	d= 7.4mm								
22	mm								



Fonte: (Autor, 1027)

A figura acima mostra que a bitola da armadura principal é de 20,7mm e o estribo de 7,4mm, sendo consideradas no trabalho as bitolas comerciais de 20,0mm e 8,0mm respectivamente.

Foi verificada uma variação na espessura do concreto de cobrimento, essa variação foi de aproximadamente 1cm, ou seja, um valor significativo e que, de acordo com a NBR 6118, uma dessas variações não atende ao cobrimento previsto para classe de agressividade ao qual o pilar estar exposto. A variação pôde ser observada na área em que o concreto estava desagregado e com a armadura exposta e na área que foi realizado o ensaio de resistividade.

Com a determinação do diâmetro da armadura, foi constatado que a perda de seção do aço foi de 15,25%, na área realizada o ensaio, sendo uma perda considerável em relação à bitola real podendo ser visualizada na figura abaixo.

Figura 43 - Seção real x perda de seção.



Fonte: (Autor, 2017)

Nessa fase identificamos também a classe de agressividade em que a estrutura está exposta. A avaliação da classe foi feita através da norma europeia,

que é a norma que o software trabalha, essa classificação pode ser observada na tabela a seguir.

Tabela 17 - Classe de agressividade ambiental do pilar.

2- Corrosão induzida por carbonatação	
Quando o concreto armado está exposto a ambiente úmido, a exposição deve ser classificada da seguinte forma: Nota: as condições de umidade a ser considerada no recobrimento do concreto, em alguns casos, podem ser a mesma do ambiente circundante. Nesses casos, a classificação desse meio deve ser adequada. Esta observação não é válida no caso de uma barreira entre o concreto e o meio ambiente.	
XC1 Seco ou permanentemente úmido	Concreto armado no interior do edifício com umidade relativa baixa. Concreto permanentemente submerso.
XC2 Úmido, raramente seco	Superfícies de concreto sujeitas a contato com água por longos períodos. Fundações.
XC3 Umidade moderada	Concreto armado em edifícios com umidade relativa moderada. Concreto no exterior protegido da chuva.
XC4 Ciclos úmidos e secos	Superfícies de concreto em contato com água, fora do âmbito da classe XC2.

Fonte: (EN 1992-1-1:2004, adaptada pelo autor)

A parte em destaque da tabela acima é a classificação que o pilar, em estudo, está exposto. O pilar está na área externa da quadra e fica exposto ao sol e a chuva, por isso foi classificado como XC4.

Essa classificação é inserida no software e ele gera o valor do fator de agressividade através da tabela 05, como a classe é XC4 então terá um peso 3. No software esse valor já é calculado automaticamente após indicar a classe de agressividade e pode ser visto na figura 44.

Figura 44 – Índice de agressividade ambiental – estudo de caso.

Índice de Agressividade Ambiental

Designación	Descripción del ambiente	Explicación
1. Sin riesgo de corrosión		
XO	Para hormigones en masa, todos los ambientes excepto donde hay acciones de deshielo, abrasión o ataques químicos	Ciclos húmedos y secos.
2. Corrosión inducida por carbonatación		
XC1	Seco o permanentemente húmedo	
XC2	Húmedo, raramente seco.	
XC3	Humedad moderada.	
XC4	Ciclos húmedos y secos.	
3. Corrosión inducida por cloruros de origen distinto del marino.		
XD1	Moderadamente húmedo.	
XD2	Húmedo raramente seco.	
XD3	Ciclos húmedos y secos.	
4. Corrosión inducida por cloruros de origen marino.		
XS1	Exposición a la acción de la sal contenida en el aire pero no en contacto con el agua de mar.	
XS2	Permanentemente sumergidas	
XS3	Zonas expuestas a la acción de la marea o salpicaduras.	

IAA

Peso

Clase

Aceptar

Cancelar

Fonte: (Autor,2017)

4.2 ENSAIOS IN LOCO

Após a inspeção foi realizado ensaios em campo, com o auxílio do aparelho Gecor 8, para identificar a resistividade elétrica do concreto, potencial e taxa de corrosão. Esses ensaios foram realizados, pois o software necessita desses dados para funcionar.

O potencial elétrico é determinado com o uso do sensor A (tabela 14) onde foi selecionado um ponto da estrutura para realizar a análise, a área foi de aproximadamente $0,6325\text{m}^2$ (1,15m x 0,55m).

Para realizar esse ensaio é preciso que o pilar esteja úmido, a figura a seguir mostra o processo de umidificação do pilar. Vale salientar que houve dificuldade para realizar esse processo, pois a secagem superficial do concreto era muito rápida fazendo com que a leitura do Gecor 8 desse erro no processo de verificação do sistema, e isso acaba afetando diretamente os resultados.

Figura 45 - Umedecendo o pilar para realização do ensaio.



Fonte: (Autor, 2017)

Em seguida foi realizado o ensaio, o próprio aparelho memoriza os dados coletados e gera os gráficos e tabelas com os resultados. Esses podem ser observados no anexo A.

No primeiro gráfico, imagem A1, ele mostra o potencial de corrosão em relação ao mapeamento de 16 pontos (imagem A4). O gecor admite três níveis de corrosão, são eles: alto risco (< -350 mV), médio risco (-350 a -200 mV) e baixo risco (> -200 mV). Pelo resultado do gráfico podemos concluir que a corrosão varia de médio a baixo risco nos pontos estudados.

Em relação ao gráfico de resistividade, imagem A2, o gecor admite que a resistividade < 20 k Ω .cm é de alto risco, entre 20 e 50 k Ω .cm é médio risco e >50 k Ω .cm é baixo risco, portanto é perceptível no gráfico que o risco é baixo e médio. E com relação ao terceiro gráfico, imagem A3, o risco de corrosão é totalmente baixo, como pode ser observado no gráfico.

Com a realização do mapeamento de vários pontos, imagem A4, para achar a resistividade e potencial de corrosão, foi obtido uma resistividade de 631 Ω .m ou 63,1k Ω .cm, que de acordo com a literatura, figura 12, o risco de corrosão é baixo. Já o potencial de corrosão foi de -279,92mV e que segundo a norma, tabela 3, a probabilidade de corrosão é incerta. E com relação à taxa de corrosão, o resultado foi de 0,01 μ .A/cm², ou seja, a possibilidade de corrosão nessa área é baixa.

Foram realizados também os ensaios de carbonatação e de nível de cloreto, esse foi retirada amostra, figura 42, do concreto e enviada ao ITPS para análise do

mesmo onde o resultado está exposto no anexo B e mostra que existe presença de cloreto na amostra, sendo de 0,01%. Segundo a ABNT NBR 12655:2006 o teor máximo de íons cloreto sobre a massa de cimento admitido é de 0,15%, como pode perceber o teor existente é muito abaixo do permitido, então está totalmente de acordo com a norma e como está de acordo foi admitido, no software, que o teor de cloreto será de $X_{cl} = 0$. Vale destacar que essa porcentagem igual nas três amostras pode ter sido dos vestígios do pó na primeira coleta.

Já no processo do ensaio de carbonatação o resultado é visto na hora do ensaio e a figura a seguir mostra isso.

Figura 46 - Ensaio de carbonatação - Aplicação da fenolftaléina.



Fonte: (Autor, 2017)

Figura 47 - Profundidade de carbonatação



Fonte: (Autor, 2017)

Após o ensaio, figura 46, foi identificado que a profundidade de carbonatação é de 30mm ou 3cm e o cobrimento real dessa área foi de 25mm ou 2,5cm(tabela 16

– na parte bitola-estribo), ou seja, é maior que o cobrimento do concreto. Foi observado que o estribo teve uma considerável perda de seção, ficando claro que a carbonatação foi a provável causa dessa corrosão.

A tabela abaixo segue com o resumo dos dados coletados, onde esses irão ser utilizados no software para obtenção do IC.

Tabela 18 - Resultados coletados nos ensaios e classificação do software.

Resultados dos ensaios		
-	Valores	Classificação
Profundidade de carbonatação (X_{c02})	3 cm	$X > c$
Nível de cloreto (X_{cl})	0,01%	$X_{cl} = 0$
Fissuração (W)	-	fissuras < 0,3mm
Resistividade (p)	631 $\Omega.m$	500 – 1000
Perda de seção	15,25%	5 - 10%
Intensidade de corrosão (I_{corr})	-279,92	< 0,1

Fonte: (Autor, 2017)

Os dados da tabela acima serão inseridos no software na aba dos indicadores de corrosão, figura 22, e que com o uso da equação 1 ele gera o IDC.

Figura 48 - Índice de dano de corrosão do pilar da quadra poliesportiva do IFS.

Indicador	Nivel I	Nivel II	Nivel III	Nivel IV	Valor
Profundidad de carbonatación [X_{c02}]	$X_{c02} = 0$	$X_{c02} < c$	$X_{c02} = c$	$X_{c02} > c$	4
Nivel de cloruros [X_{cl}]	$X_{cl} = 0$	$X_{cl} < c$	$X_{cl} = c$	$X_{cl} > c$	1
Fisuración por corrosión en el recubrimiento [w]	Sin fisuras	Fisuras < 0.3 mm	Fisuras > 0.3 mm	Fisuración generalizada y estallidos	2
Resistividad (Ωm) [p]	> 1000	500 - 1000	100 - 500	< 100	2
Pérdida sección [Ωm]	< 1 %	1 - 5 %	5 - 10 %	> 10 %	4
Intensidad de corrosión [$\mu A/cm^2$] [I_{corr}]	< 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 1	> 1	1

Indicadores Índice de Corrosión

IDC: 2,333

Calcular

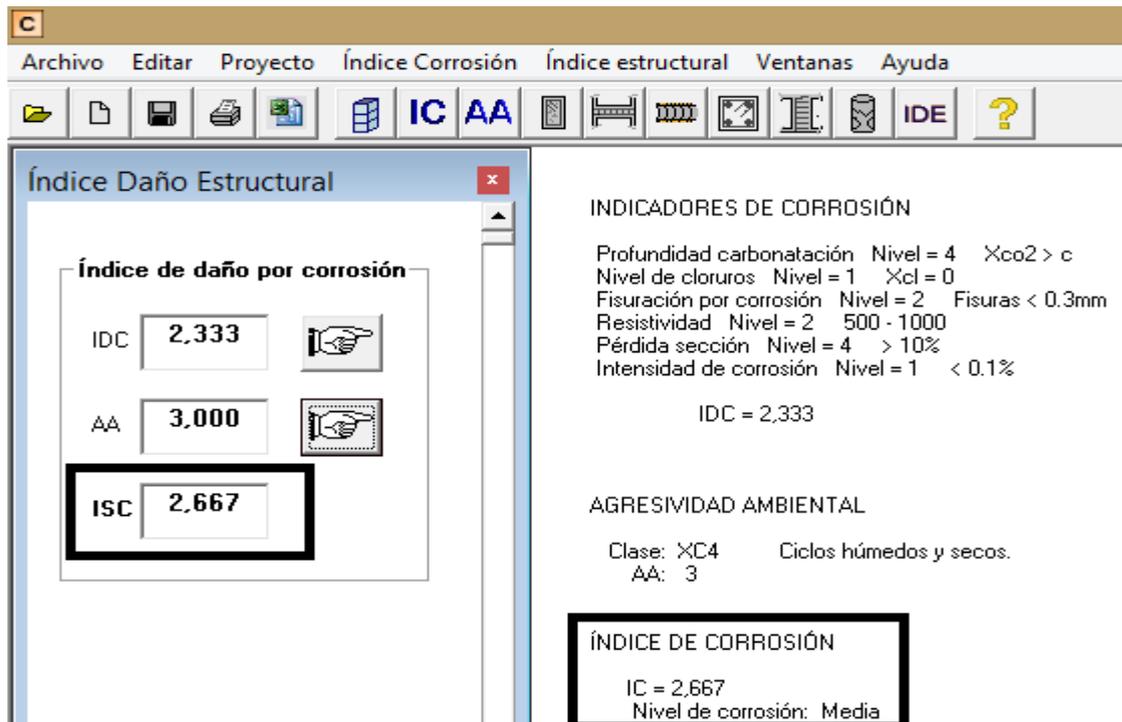
Cerrar

Cancelar

Fonte: (Autor, 2017)

Com a inserção dos dados no software referente aos indicadores de corrosão e a agressividade ambiental, o índice de corrosão (IC) é calculado através da equação 2 e com esse valor o software irá classificar o nível de corrosão através da tabela 6. Ambos os cálculos, no software, são feitos automaticamente.

Figura 49 - Índice de corrosão do pilar em estudo.



Fonte: (Autor, 2017)

Em seguida é calculado o valor do índice estrutural, como o estudo foi realizado no pilar, só iremos calcular o índice da armadura que sofre flexo-compressão. Para tal calculo é preciso saber a bitola das armaduras e o espaçamento, a tabela a seguir mostra esses dados.

Tabela 19 - Bitola e espaçamento das armaduras.

	Armadura principal	Estribo
Bitola	20.0 mm	8.0 mm
Espaçamento	10 cm	12 cm

Fonte: (Autor, 2017)

Com os dados da tabela 19 é possível calcular o índice de armadura transversal, onde $\lambda = 6$ e com o uso da tabela 10 o valor do IAT será de 2 na figura a seguir pode ser visualizado esse valor.

Figura 50 - Índice de armadura transversal do pilar em estudo.

ϕ_t	$\lambda = \text{espaciado de cercos} / \phi \text{ armadura principal}$	
	$\lambda \leq 10$	$10 < \lambda$
> 8	1	2
≤ 8	2	3

IAL: 2

Aceptar

Cancelar

Fonte: (Autor, 2017)

Por meio do valor de IAT, figura 50, podemos obter o índice de armadura longitudinal onde será necessário utilizar a equação 3 para obtenção da relação entre as seções, seção reduzida e seção bruta, que será de 0,72 e como o espaçamento é menor que cinco vezes a bitola o IAT vai ser 2, então o IAL vai ser igual a 4.

Figura 51 - Índice de armadura longitudinal do pilar em estudo.

Índice de armado transversal	D = Índice de desprendimiento			
	D ≥ 0.75		D < 0.75	
	Espaciado		Espaciado	
	$> 5 \phi$	$< 5 \phi$	$> 5 \phi$	$< 5 \phi$
1	I	I	II	III
2	II	II	III	IV
3	III	IV	IV	IV

IAL: 4

Aceptar

Cancelar

Fonte: (Autor, 2017)

Com os valores do IAT e IAL, o software calcula automaticamente o valor do índice estrutural, figura 52, que será de 4.

Figura 52 - Índice estrutural do pilar em estudo.

Archivo Editar Proyecto Índice Corrosión Índice estructural Ventanas Ayuda

Índice Daño Estructural

Índice estructural

Tipo de elemento

Flexión

Flexocompresión

IAT 2

IAL 4

ES

IE 4

INDICADORES DE CORROSIÓN

Profundidad carbonatación Nivel = 4 $X_{co2} > c$

Nivel de cloruros Nivel = 1 $X_{cl} = 0$

Fisuración por corrosión Nivel = 2 Fisuras $< 0.3mm$

Resistividad Nivel = 2 500 - 1000

Pérdida sección Nivel = 4 $> 10\%$

Intensidad de corrosión Nivel = 1 $< 0.1\%$

IDC = 2,333

AGRESIVIDAD AMBIENTAL

Clase: XC4 Ciclos húmedos y secos.

AA: 3

ÍNDICE DE CORROSIÓN

IC = 2,667

Nivel de corrosión: Media

ÍNDICE ESTRUCTURAL - Elemento en flexocompresión

Índice armado transversal Nivel = 2 $Dia \leq 8 mm$ $L \leq 10$

Índice de armado longitudinal Nivel = 4 $n < 0.75$ $Esp < 5$ día

IE = 4

Fonte: (Autor, 2017)

Diante de todos os dados coletados/calculados é possível identificar o índice de dano estrutural da estrutura e gerar o grau de intervenção da mesma.

Figura 53 - Índice de danos estruturais do pilar – leves e importantes.

Estimación del Índice de Daño Estructural

Consecuencias del fallo

Leve

Importante

Índices

Índice de corrosión 2,666667

Índice estructural 4

Evaluar IDE

M

Evaluar Tabla

Aceptar

Cancelar

Estimación del Índice de Daño Estructural

Consecuencias del fallo

Leve

Importante

Índices

Índice de corrosión 2,666667

Índice estructural 4

Evaluar IDE

MS

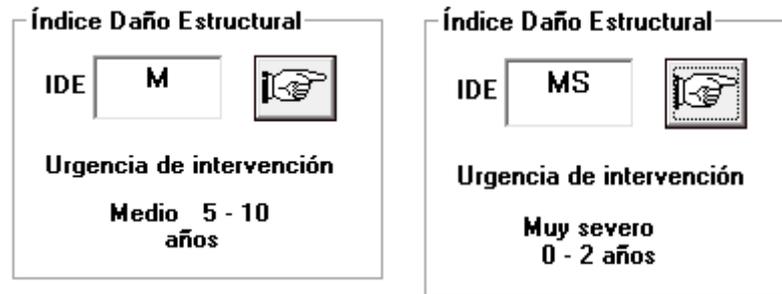
Evaluar Tabla

Aceptar

Cancelar

Fonte: (Autor, 2017)

Figura 54 - Índice de dano e urgência de intervenção.



Fonte: (Autor, 2017)

A urgência de intervenção da estrutura irá depender da consequência de danos que essa deterioração irá trazer para a estrutura como um todo, na estrutura em estudo a urgência de intervenção foi de cinco a dez anos para danos leves e um índice de dano estrutural médio, e de zero a dois anos para danos muito graves e um índice de dano estrutural muito grave. O software gera um relatório final com a descrição dos resultados obtidos e esses podem ser consultados no Anexo C.

5. CONCLUSÃO

O estudo potencializou que o software apresenta informações resultantes tecnicamente confiáveis, nas decisões das etapas seguintes a serem programadas nos trabalhos periciais preliminares em estruturas de concreto armado com armaduras em processo de despassivação.

Torna-se, portanto, vantajosa à incorporação dessa ferramenta computacional na lide pericial como mais um subsídio quali-quantitativo nas avaliações. Entretanto, para sua operacionalização, demanda-se a obtenção de dados via ensaios especializados.

Comparativamente com técnicas utilizadas no mercado pericial, o software apresentou resultados mais conservadores sob o ponto de vista dos riscos promovidos pela corrosão instalada.

REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 6118:2014** - Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos . (s.d.).
- Andrade, J. J. (1997). **Durabilidade das estruturas de concreto armado: análise das manifestações patológicas nas estruturas no estado de Pernambuco**. Porto Alegre, RS.
- Andrade, J. J. (2001). **Contribuição à previsão da vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão de armaduras: iniciação por cloreto**. Porto Alegre, RS.
- Araujo, A., & Panossian, Z. (2010). **Durabilidade de estruturas de concreto em ambiente marinho: estudo de caso**.
- Araujo, A., & Panossian, Z. (2013). Acesso em 28 de Novembro de 2017, disponível em **Téchne**: <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/200/artigo301318-1.aspx>
- Carvalho, L. G. (2014). **Resistência à corrosão do aço CA24 e CA50 frente à ação dos cloretos**. Goiânia, Goiás.
- Crauss, C. (2010). **Penetração de cloretos em concretos com diferentes tipos de cimento submetidos a tratamento superficial**. Santa Maria, RS, Brazil.
- EHE – 08** - Code on Structural Concrete. (s.d.).
- EN 1992-1-1:2004** - Eurocode:2 Designe o concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings. (s.d.).
- Freire, K. R. (2005). **Avaliação do desempenho de indicadores de corrosão em armadura de concreto**. Curitiba, Paraná.
- IN 302021, G. e.-C. (s.d.). **Manual de evaluación de estructuras afectadas por corrosión de la armaduras**.
- Marques, V. S. (2015). **Recuperação de estruturas submetidas à corrosão de armaduras: definição das variáveis que interferem no custo**. Porto Alegre, RS.
- Monteiro, E. C. (2002). **Avaliação do método de extração eletroquímica de cloretos para reabilitação de estruturas de concreto com problemas de corrosão de armaduras**. São Paulo, São Paulo.
- Moya, G. R. (2008). **Evaluación de estucturas de concreto por corrosión**.
- Pellizzer, G. P. (2014). **Análise mecânica e probabilística da corrosão de armadura de estruturas de concreto armado submetidos à penetração dos cloretos**. São Carlos, São Paulo.

Pinto, S. d. (2016). **Correlações entre ensaios de penetração de cloreto e análise da influência do uso da sílica ativa na durabilidade do concreto armado.** Salvador, Bahia.

Prata, A. L. (2017). **Medição da concentração de cloreto na atmosfera urbana de Aracaju/SE.** Aracaju, Sergipe.

Ribeiro, D. V. (2010). **Influência da adição da lama vermelha nas propriedades e na corrosibilidade do concreto armado.** São Carlos, São Paulo.

Rocha, I. (2015). **Corrosão em estruturas de concreto armado.** *ESPECIALIZE - IPOG.*

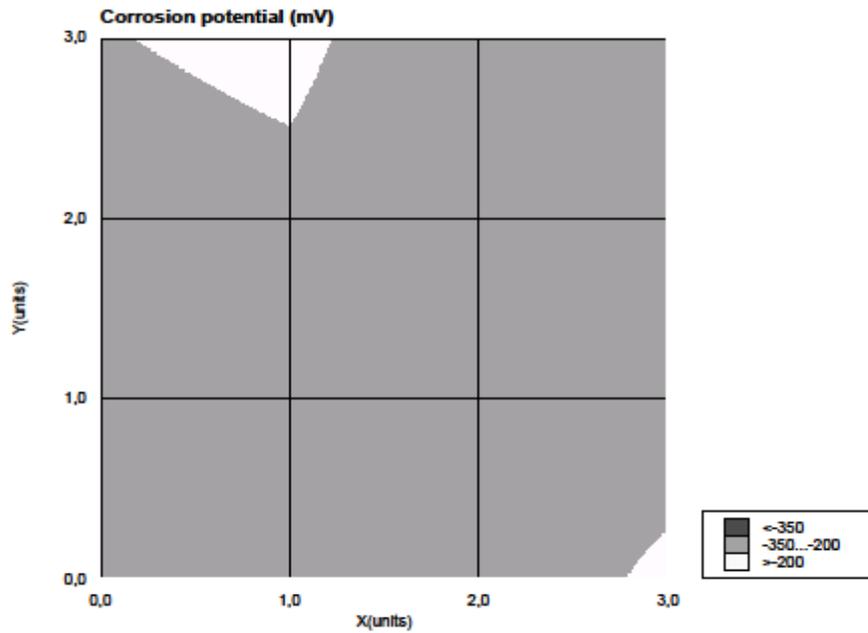
Santos, L. (2006). **Avaliação da resistividade elétrica do concreto como parâmetro para previsão da iniciação da corrosão induzida por cloretos em estruturas de concreto.** Brasília, Distrito Federal.

Torres, A. d. (2011). **Corrosão por cloretos em estruturas de concreto armado: uma meta-análise.** Porto Alegre, RS.

Anexo A – Resultados coletado do Gecor 8

Imagem A1 – Gráfico do potencial de corrosão.

MAPPING RESULTS - CORROSION POTENTIAL

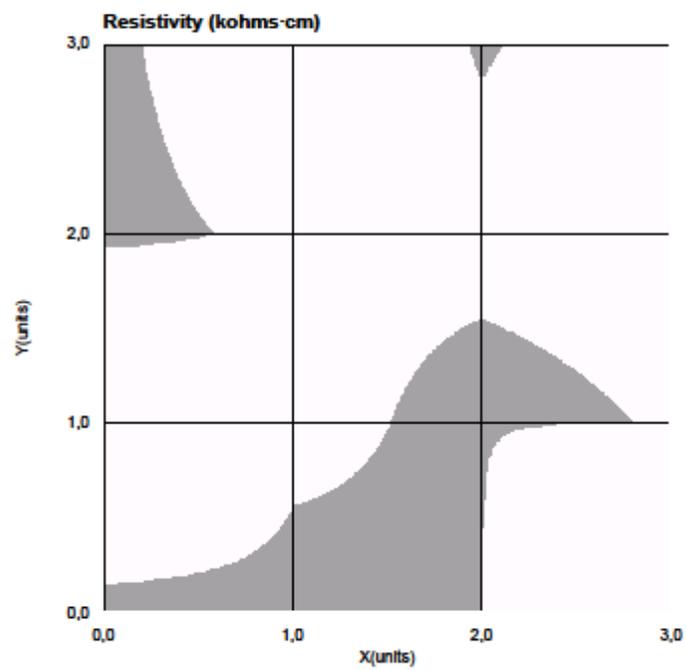


Project: TCC_RAFELA
Structure: RAFAELA MEDIÇÕES
Point: 1
File: R21
Date: 21/10/2017

Data results. BASEGECOR. TCC_RAFELA.

Imagem A2 – Gráfico da resistividade.

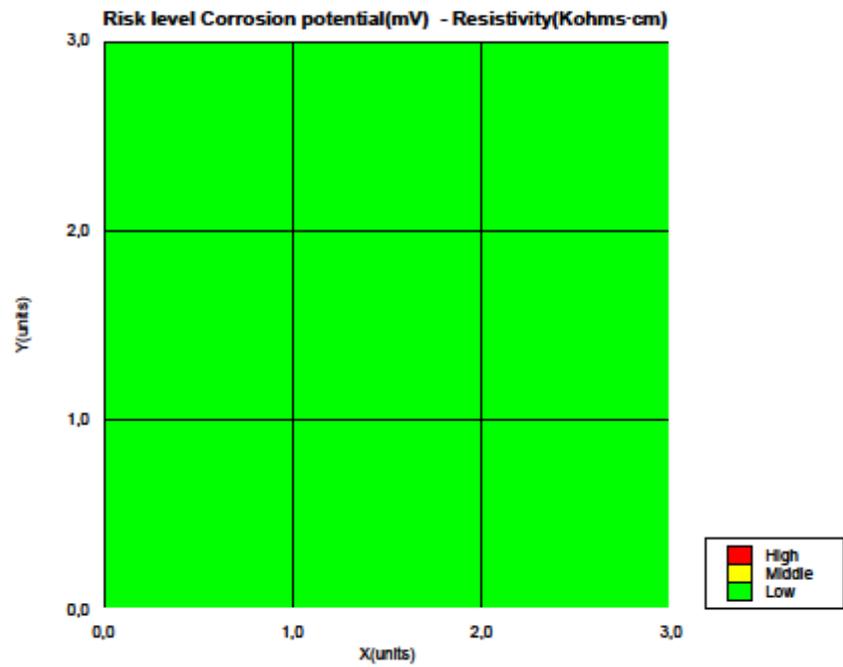
MAPPING RESULTS - RESISTIVITY



Project: TCC_RAFAELA
Structure: RAFAELA MEDIÇÕES
Point: 1
File: R21
Date: 21/10/2017

Imagem A3 – Gráfico do nível de risco de corrosão.

RISK LEVEL POTENTIAL - RESISTIVITY



Project: TCC_RAFAELA
Structure: RAFAELA MEDIÇÕES
Point: 1
File: R21
Date: 21/10/2017

Data results. BASEGECOR. TCC_RAFAELA.

Imagem A4 – Dados coletos no mapeamento.

Mapping measurements

Structures

Name	Description
▶ RAFAELA MEDIÇDES	Default structure

Points

Name	Description
▶ 1	
2	
3	

Mapping files

File	Date	mapping perimeter
▶ R21	21/10/2017	

Mapping measurements

X	Y	Corrosion potential	Resistivity	Corrosion rate	Risk level
▶ 0	0	-346.27	21.36	0	green
0	1	-281.43	230.34	0	green
0	2	-241.37	35.64	0	green
0	3	-204.49	38.86	0	green
1	0	-307.08	28.08	0	green
1	1	-252.13	67.6	0	green
1	2	-222.72	60.21	0	green
1	3	-178.6	95.11	0	green
2	0	-325.1	42.51	0	green
2	1	-288.51	33.76	0	green
2	2	-279.52	63.1	0	green
2	3	-275.82	47	0	green
3	0	-167.57	1506.5	0	green
3	1	-294.78	53.77	0	green
3	2	-262.99	69.06	0	green
3	3	-239.8	73.42	0	green

Imagem A5 – Dados coletados na área de medição.

Aerial measurements

Structures

Name	Description
▶ RAFAELA MEDIÇÕES	Default structure

Points

Name	Description
▶ 1	
2	
3	

Aerial measurements

Date	Time	Corrosion rate	Corrosion potential	Electrical resistance	Resistivity	Reinforcement area	Warning number	Field data
▶ 21/10/2017	20:14:59	0,001	-293,258	54,346	0	3600	01400000	V W NF CR NS D F
21/10/2017	20:01:15	0,001	-278,923	30,689	0	3600	01400000	V W NF CR NS D F
21/10/2017	19:58:06	0,001	-269,93	15,427	0	3600	01400000	V W NF CR NS D F

Anexo B – Resultado do ITPS


**INSTITUTO TECNOLÓGICO E DE PESQUISAS DO
ESTADO DE SERGIPE**

 Rua Campo do Brito, Nº371, Treze de Julho, CEP 49.020-380
Aracaju - SE - Brasil

 Fone (79) 3179-8081/8087 Fax (79) 3179-8087/8090
CNPJ 07.258.529/0001-59

Relatório de Ensaios ITPS Nº 3598/17

Revisão 00

Cliente	CONSTRUTORA CARVALHO LTDA	Telefone	LARISSA 9 9981-1589
Endereço	Rua Lagarto, 27, CEP 49010-390	Contato(s)	Eng. Carlos 99978-3631 / LARISSA
e-mail	consvalho@gmail.com, analissacprata@gmail.com	Fax	
Amostra(s)	Cimentos	Recepção	23/10/17

Amostra	1ª AMOSTRA 1,5 cm				Código	3598/17-01	Coleta em	
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ		Método		Data do Ensaio	
Cloretos	<0,01	%NaCl	<0,01		Cloreto Solúvel		30/10/17	

Amostra	2ª AMOSTRA 2,5 cm				Código	3598/17-02	Coleta em	
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ		Método		Data do Ensaio	
Cloretos	<0,01	%NaCl	<0,01		Cloreto Solúvel		30/10/17	

Amostra	3ª AMOSTRA 4,3cm				Código	3598/17-03	Coleta em	
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ		Método		Data do Ensaio	
Cloretos	<0,01	%NaCl	<0,01		Cloreto Solúvel		30/10/17	

Legenda

LQ: Limite de Quantificação do Método.

Informações de Coleta

Coleta efetuada pelo cliente.

A descrição do material ensaiado é de inteira responsabilidade do cliente.

 RAFAELA
 9 9919-8899

Aracaju, 30 de outubro de 2017.

 Carolina Mangleri de Oliveira Prado
 Técnico em Química
 CRQ-08400398
 Lab. de Ensaio Inorgânicos

Documento verificado e aprovado por meios eletrônicos

 A verificação da autenticidade deste documento pode ser feita baixando o documento original em www.itps.se.gov.br na aba
 Serviços clicando em Resultados de Análises usando o código LRD/GZ CMM 417.

 A Custódia das amostras é de 15 dias após emissão do relatório de ensaios, exceto para solos que é 90 dias e água que é 2 dias. Não se aplica a amostras
 perecíveis. Os resultados têm significado restrito e aplicam-se somente às amostras ensaiadas. Este relatório somente poderá ser reproduzido em sua totalidade.
 O ITPS se isenta de qualquer responsabilidade pela reprodução parcial do mesmo.

Anexo C – Relatório gerado pelo software – EECC

DATOS GENERALES

Proyecto: Pilar da quadra Poliesportiva
 Ubicación: Instituto Federal de Sergipe
 Fecha: 12/11/2017
 Responsable: Eng. Rafaela Menezes

DATOS DE LA ESTRUCTURA

Tipo: Otro
 Descripción:
 Fecha construc:
 Uso:

INDICADORES DE CORROSIÓN

Profundidad carbonatación Nivel = 4 $X_{co2} > c$
 Nivel de cloruros Nivel = 1 $X_{cl} = 0$
 Fisuración por corrosión Nivel = 2 Fisuras $< 0.3mm$
 Resistividad Nivel = 2 500 - 1000
 Pérdida sección Nivel = 4 $> 10\%$
 Intensidad de corrosión Nivel = 1 $< 0.1\%$

$$IDC = 2,333$$

AGRESIVIDAD AMBIENTAL

Clase: XC4 Ciclos húmedos y secos.
 AA: 3

ÍNDICE DE CORROSIÓN

$$IC = 2,667$$

Nivel de corrosión: Media

ÍNDICE ESTRUCTURAL - Elemento en flexocompresión

Índice armado transversal Nivel = 2 $Dia \leq 8 mm$ $L \leq 10$
 Índice de armado longitudinal Nivel = 4 $n < 0.75$ $Esp < 5 dia$
 $IE = 4$

ÍNDICE DE DAÑO ESTRUCTURAL

IDE = M Medio
 Consecuencia fallo: Leve
 Urgencia de intervención: 5 - 10 años

ÍNDICE DE DAÑO ESTRUCTURAL

IDE = MS Muy severo
 Consecuencia fallo: Importante
 Urgencia de intervención: 0 - 2 años

