



FACULDADE DE EDUCAÇÃO E MEIO AMBIENTE

GEFFERSON WILLIAN ROOS DO CARMO

**CARBONATAÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO –
VERIFICAÇÃO DE CARBONATAÇÃO EM PILARES DE UM MURO
RESIDENCIAL NO MUNICÍPIO DE MONTE NEGRO – RONDÔNIA.**

ARIQUEMES – RO

2020

GEFFERSON WILLIAN ROOS DO CARMO

**CARBONATAÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO:
VERIFICAÇÃO DE CARBONATAÇÃO EM PILARES DE UM MURO
RESIDENCIAL NO MUNICÍPIO DE MONTE NEGRO – RONDÔNIA.**

Trabalho de conclusão de curso, para a
obtenção do Grau em Engenharia Civil
apresentado a Faculdade de Educação
e Meio Ambiente – FAEMA.

Orientador (a): Esp. Bruno Dias de
Oliveira

ARIQUEMES - RO

2020

FICHA CATALOGRÁFICA
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Júlio Bordignon - FAEMA

C287g

CARMO, Gefferson Willian Roos do.

Carbonatação em estruturas de concreto armado - verificação de carbonatação em pilares de um muro residencial no município de Monte Negro - Rondônia. / por Gefferson Willian Roos do Carmo. Ariquemes: FAEMA, 2020.

41 p.

TCC (Graduação) - Bacharelado em Engenharia Civil - Faculdade de Educação e Meio Ambiente - FAEMA.

Orientador (a): Prof. Esp. Bruno Dias Oliveira.

1. Carbonatação. 2. Concreto. 3. pH. 4. Estruturas. 5. Fenolftaleína. I Oliveira, Bruno Dias . II. Título. III. FAEMA.

CDD:620.1

Bibliotecária Responsável
Herta Maria de Açucena do N. Soeiro
CRB 1114/11

GEFFERSON WILLIAN ROOS DO CARMO

**CARBONATAÇÃO EM ESTRUTURAS DE
CONCRETO ARMADO: VERIFICAÇÃO DE
CARBONATAÇÃO EM PILARES DE UM MURO
RESIDENCIAL NO MUNICÍPIO DE MONTE NEGRO –
RONDÔNIA.**

Trabalho de conclusão de curso, para a obtenção do
Grau em Engenharia Civil apresentado a Faculdade de
Educação e Meio Ambiente – FAEMA.

Orientador (a): Esp. Bruno Dias de Oliveira

Banca examinadora

Prof. Esp. Bruno Dias de Oliveira
Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA

Prof. Ruan Iuri de Oliveira Guedes
Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA

Prof. Esp. João Victor da Silva Costa
Faculdade de Educação e Meio Ambiente – FAEMA

ARIQUEMES- RO

2020.

Dedicado à minha família por todo apoio e incentivo que me fortaleceram. Dedico a todos meus amigos que me ajudaram e compartilharam de seus conhecimentos para que alcancemos esse objetivo e a todos os meus professores que me proporcionaram os conhecimentos necessário e total apoio com pesquisas e correções.

AGRADECIMENTOS

Sou muito grato aos meus pais, Pai Gesy Miranda do Carmo e minha Mãe Vanusa Roos, pela luta que passamos juntos e as dificuldades enfrentadas nesta jornada. Também sou muito grato minha Coordenadora Priscila Lemos, pelo apoio e suporte no Curso e em nossas vidas.

Quero agradecer também a uma pessoa que conheço desde a infância e que nunca imaginaria que seria meu antigo orientador, meu Professor Jhonattas Muniz de Souza, meu Professor Ruan Iuri de Oliveira Guedes. E meu Orientador Bruno Dias de Oliveira. Todos os seus ensinamentos transmitidos e a suas dedicações em me ajudar, pelos seus incentivos durante a realização desse trabalho.

Me sinto agraciado pela Faculdade de Meio Ambiente e Educação (FAEMA), e pelos seus excelentes docentes.

Obrigado a todos os meus amigos que me apoiaram de forma direta ou indiretamente na elaboração desta pesquisa, todos que me ajudaram dentro da sala, eu só tenho a agradecer muito a eles.

“A persistência é o caminho do êxito.”
Charles Chaplin.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo explicar a carbonatação em concretos convencionais, reformulados conforme definições teóricas necessárias para o entendimento do assunto abordado, contendo os fatores influentes para que a carbonatação ocorra. principais causas do fenômeno e sua manifestação de acordo com as características baseadas na NBR 6118/2014. O objetivo é coletar informações sobre as condições atuais de cada estrutura de concreto armado, o objetivo principal é comparar a profundidade da frente de carbonatação em duas estruturas no Município de Monte Negro - Rondônia, avaliando através de um estudo de caso. O procedimento de inspeção utilizará um elemento químico para que possa identificar o grau da estrutura. Procedimento utilizado Fenolftaleína, indicador de pH, que identifica uma alcalinidade da estrutura, identificando possíveis riscos de gravidade e precipitação futura. com características e idades diferentes. Os resultados analisados mostraram que a estrutura mais recente, com menor idade do concreto, não apresentando carbonatação. Vários fatores foram considerados na análise, como o tipo de cimento utilizado, a relação água / cimento, a mistura do concreto, a forma de execução (manual ou mecânica) e se houve um processo de cura.

Palavra-chave: Carbonatação. Concreto. pH. Estruturas. Fenolftaleína.

ABSTRACT

This work aims to explain carbonation in conventional concretes, reformulated according to theoretical definitions necessary to understand the subject addressed, containing the influential factors for carbonation to occur. main causes of the phenomenon and its manifestation according to the characteristics based on NBR 6118/2014. The objective is to collect information about the current conditions of each reinforced concrete structure, the main objective is to compare the depth of the carbonation front in two structures in the Municipality of Monte Negro - Rondônia, evaluating through a case study. The inspection procedure will use a chemical element so that it can identify the degree of the structure. Procedure used Phenolphthalein, pH indicator, which identifies an alkalinity of the structure, identifying possible risks of gravity and future precipitation. with different characteristics and ages. The analyzed results showed that the most recent structure, with a lower age of concrete, does not present carbonation. Several factors were considered in the analysis, such as the type of cement used, the water / cement ratio, the concrete mix, the way of execution (manual or mechanical) and whether there was a curing process.

Key-word: Carbonation. Concrete. pH. Structures. Phenolphthalein.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cimento Portland	17
Figura 2 - Concreto	19
Figura 3 - Agregados.....	20
Figura 4 - Aditivos	21
Figura 5 - Concreto armado	23
Figura 6 - Corrosão na estrutura de concreto armado	24
Figura 7 - Vida Útil de Projeto Mínima a ser estabelecida pelo projetista	25
Figura 8 - Fenolftaleína	26
Figura 9 - Classes de agressividade ambiental.....	27
Figura 10 - Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto	29
Figura 11 - Avanço de carbonatação nos intervalos de tempo.....	30
Figura 12 - Fatores que influencia na carbonatação	31
Figura 13 - Carbonatação na estrutura de concreto armado.....	31
Figura 14 - Escala de cores provocadas pela a fenolftaleína no concreto	32
Figura 15 - Município de Monte Negro - Rondônia - BR-421	33
Figura 16 - segundo pilar antigo analisado	36
Figura 17 - Primeiro pilar antigo analisado.....	36
Figura 18 - Terceiro pilar antigo analisado.....	24
Figura 19 - Primeiro pilar analisado.....	38
Figura 20 - Segundo pilar analisado.....	38
Figura 21 - Terceiro pilar analisado.....	39

LISTA DE SIGLAS

FAEMA	Faculdade de Educação e Meio Ambiente
NBR	Normas Técnicas
Cl	Cloro
Co ²	Dióxido de Carbono
FCK	Resistência característica do concreto a compressão
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Mpa	Mega Pascal
pH	Potencial Hidrogeniônica
H ₂ O	Água
Ca	Gás Carbônico
CO ₂	Dióxido de Carbono
H ₂ CO ₃	Ácido Carbônico
CaCO ₃	Cristais

Sumário

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL (OBJETIVO PRIMÁRIO).....	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS (OBJETIVOS SECUNDARIOS)	15
3	REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1	CIMENTO	16
3.2	CONCRETO.....	17
3.3	AGREGADOS	19
3.4	ADITIVOS NO CONCRETO	20
3.5	CONCRETO ARMADO	22
3.6	CORROSÃO DA ARMADURA DE CONCRETO.....	23
3.7	VIDA ÚTIL.....	25
3.8	FENOLFTALEINA.....	26
3.1.1	Classe de Agressividade Ambiental.....	27
3.1.2	Carbonatação	29
4	METODOLOGIA.....	33
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
5.1	INSPEÇÕES NOS PILARES	35
5.2	PILARES ANTIGOS (1997).....	35
5.5	PILARES NOVOS (2020).....	37
6.	CONCLUSÃO.....	40
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

1 INTRODUÇÃO

O material mais empregado na engenharia é o concreto, que até mesmo hoje é apresentado em inúmeras obras civis, independentemente da localização e o ambiente, configurando assim que não há espaço onde não se encontre uma edificação de concreto, sendo este um dos materiais mais ancestrais que se tenha conhecimento (MEHTA & MONTEIRO;1994).

De acordo com Neville 1997, pensava-se até o princípio do século passado que, a elaboração de estruturas de concreto com grande resistência mecânica sugeria durabilidade por tempo indeterminado. Com o devir do tempo, percebeu-se que esta ideia estava completamente suplantada. De tal modo, nos dias de hoje, reconhece-se que para a exposição do concreto aos mais diferentes ambientes torna-se necessário um estudo rigoroso para que este seja durável, baseando-se nas adversidades de cada meio onde este será inserido.

Em detrimento tem-se as anomalias, que encontradas nas construções estão profundamente ligadas à categoria dos materiais e ao modo de implementos empregados durante o processo de construção, embora estas tenham avançado e continuem progredindo a cada dia, esses “males” não se atenuam nas mesmas extensões.

As armaduras de aço são vastamente empregadas como complementação em estruturas de concreto armado. Este contém como função básica absorver as cargas que causam esforço de tração nas barras de aço, ou contribuindo no absorvimento dos esforços sobrepostos no concreto quando o próprio, cuja a ação é absorver as cargas de constrição, não resiste as elevadas cargas lhes aplicadas. (COMIM & Tatiana Alves Cecílio ESTACECHEN, 2017).

Helene em 1986 atingiu um amplo resultado em seus estudos com a conclusão de que a maior parte dos acontecimentos de corrosão do aço em estruturas arranjadas em concreto armado se dá pelo comparecimento da água. Um fator que induz o profissional qualificado a busca meios de proteger armação contra a umidade, sendo produzindo um concreto com afinidade de água/cimento menor, ou resguardando a armação com agentes químicos.

A carbonatação consiste em reações químicas entre os componentes do cimento hidratado e o dióxido de carbono (CO_2) presente na atmosfera, reduzindo o pH do concreto e proporcionando corrosão. O objetivo principal é medir a profundidade de carbonatação em um pilar de concreto armado de uma parede com mais de 28 dias de cura, aproximadamente 2 meses concluídos, e uma estimativa de pilar de concreto armado com 23 anos na parede. Este estudo faz parte de um conjunto de análises exploratórias sobre corrosão e carbonatação, para auxiliar na determinação do grau de deterioração.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL (OBJETIVO PRIMÁRIO)

Analisar a presença da carbonatação do concreto em seis pilares de um muro residencial, três pilares antigos (1997), e três pilares novos (2020), verificando uma com a outra, no Município de Monte Negro - RO, empregando o uso da Fenolftaleína, que identifica a alcalinidade na estrutura.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS (OBJETIVOS SECUNDARIOS)

- Realizar o ensaio de carbonatação *in loco* do concreto em diferentes tipos de pilares, no Município de Monte Negro - RO;
- verificar os resultados dos ensaios de carbonatação efetuados;
- Determinar a profundidade de carbonatação dos pilares;
- Verificar a carbonatação da estrutura com a solução de fenolftaleína.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Serão abordados nesta revisão os aspectos teóricos mais comuns na área profissional da construção civil, com a afinidade de descrever a importância e os cuidados básicos. São elas o concreto e suas substâncias; o cimento; os agregados; os aditivos utilizados no concreto; o concreto armado, a sua corrosão e vida útil.

3.1 CIMENTO

O construtor inglês chamado Joseph Aspdin foi o que criou o Cimento Portland no ano de 1824 (ALMEIDA, 2012). O cimento é o material mais encontrado em obras da construção civil. O cimento tem suas propriedades de aglomerantes, torna-se enérgico ao entrar em contato com a água, o que é importante para uma sociedade, a cada dia que esse elemento evolui, trazendo novos avanços químicos na sua mistura, assim efetuando uma maior resistência. As matérias-primas básicas do cimento Portland, são Calcário, Argila e Minério de Ferro, essas misturas são homogeneizadas, depois esses elementos são levados ao um forno com aproximadamente a 1450 °C, formando o Clínquer assim chamado de cimento Portland comum.

Segundo a Norma ABNT NBR 16697:2018, o tempo de pega de um cimento se dá a resistência completa após 28 dias após a concretagem, a resistência pode atingir 25 Mpa (Mega Pascal), 32 Mpa (Mega Pascal) e 40 Mpa (Mega Pascal).

No mercado Brasileiro os que são mais consumidos nas construções civis, são: cimento comum, cimento composto, cimento de alto-forno e cimento pozolânico, sendo os fundamentais tipos de Cimento Portland. Os países que mais produzem o Cimento Portland, são: China em primeiro, logo depois Índia, Estados Unidos, Irã e Brasil. (GRUBBA, 2015).

Figura 1 - Cimento Portland



Fonte: Autoria própria (2020).

3.2 CONCRETO

(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), Ao citar sobre o concreto, a normatização mais utilizada em vigor se trata da (NBR 6118/2014) , onde especifica todos os procedimentos utilizados do concreto, como por exemplo, concreto simples, concreto protendido, concreto armado, concreto especiais, concreto leve, entre vários. Cada uma das etapas estabelece requisitos a serem atendidos pelo os projetos implantados. As normas de concreto segui, similares procedimentos, como, Concreto autoadensável – Método do cone de Abrams (NBR 15823-2/17), (NBR 12655/15), Projeto e

execução de fundações (NBR 6122/19), Pavimento intertravado com peças de concreto (NBR 15953/2011), entre muitas outras.

O Concreto são misturas de materiais onde ocorre sua homogeneização, cimentos, pedras, areias, cal e água, matérias utilizados na mistura formando um concreto, assim depois de preparada e aplicada, sendo muito relevante a sua resistência mecânica, muitos dos casos são adicionados aditivos nesta mistura, buscando mais qualidade, economia e aumentando sua vida útil, apresentando vantagens sobre inúmeros matérias, na construção civil. (ALMEIDA, 2012)

Segundo com TERZIAN, 2005, a dosagem de água tem que ser a apropriada, se houver excesso ou a quantidade for pouca, haverá grandes problemas na sua estrutura, pouca resistência, evaporação, Resistência característica do concreto a compressão (FCK) não atingira seu máximo, a cura do concreto também tem seu trabalho que influencia no fenômeno, para isso não acontecer o concreto tem que ter uma ótima distribuição granulométrica, para preencher todos seus vazios, assim podendo atingir seu Mega Pascal (Mpa) solicitado.

O concreto por sua vez pode ter características especiais, acrescentando a misturas, aditivos, fibras, pigmentos, claro que essas misturas tem um certo método de utilizar, antes dos traços, são analisadas em laboratórios conforme a ABNT, para obter qualidade e melhores dados. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

Figura 2 - Concreto



Fonte: Autoria própria (2020).

3.3 AGREGADOS

Para PETRUCCI (1983), o agregado é um material granular, sem configuração e volumes definidos, geralmente imóvel, de dimensões e características adequadas para utilização em obras de engenharia civil. Agregados para concreto - especificação (ABNT NBR 7211/09), estabelece todos os requisitos, classificações dos grãos, o agregado é um material sem forma e volume definido, de atividade química geralmente inerte, que não reage quimicamente com os outros materiais misturados, tendo as dimensões e propriedades adequadas para a produção de argamassa e concreto, no conceito geral os agregados são divididas em duas partes, miúdos e graúdos, dentro os agregados miúdo, temos a areia que tem um diâmetro de 4,8 mm a 0,075 mm,

dentro desse intervalo, temos a classificação de areia grossa, media e fina. os pedregulhos tem o diâmetro entre 100 mm a 4,8 mm.

Materiais que podem ser encontrados na natureza, areia de rios, cascalhos, pedregulhos, seixos rolados. Já os artificiais são adquiridos através de um processamento, são obtidos pela britagem de rochas, pedrisco, pedra britada, entre outros.

Figura 3 - Agregados



Fonte: Autoria própria (2020).

3.4 ADITIVOS NO CONCRETO

Segundo a NBR 11768/19, aditivos são produtos que são adicionados no decorrer do processo de preparo do concreto, em pequenas quantidades, em média de 5% da massa cimentícia, contida no concreto, com propósito de modificar a propriedade do concreto. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019).

Os principais aditivos atendem a diversos propósitos, desde aumentar a trabalhabilidade sem perder resistência mecânica, rapidez de pega, retardadores de concreto. Destacasse, o aditivo Hiper Plastificante, aditivo Incorporador de ar, aditivo, aditivo Acelerador de Resistência, aditivos Plastificantes, aditivo

Impermeabilizantes, entre outros. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019).

Hoje em dia os aditivos é uma das misturas com mais importância para o desenvolvimento do concreto, apresentando características especiais, os aditivos são considerados o quarto elemento na mistura do concreto, juntamente com o cimento, agregados e a água.

Os aditivos apresentam grandes vantagens sobre o concreto muito fundamental tem a capacidade de ampliar as qualidades do concreto, e de minimizar os pontos fracos, a resistência do concreto, durabilidade, trabalhabilidade, em diversos outros benefícios. PETRUCCI (1983).

Os aditivos solicitam muito cuidados na sua adição, cuidados na conservação do produto, dosagem correta, o momento certo da aplicação, validade do aditivo, estes requisitos são importantes para não ocorrer permeabilidade, absorção de água, retração entre outras desvantagens. PETRUCCI (1983).

Figura 4 - Aditivos



Fonte: Autoria própria (2020).

3.5 CONCRETO ARMADO

Segundo a (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), o concreto armado é basicamente armaduras de aço com diferentes diâmetros no interior de um concreto, as armações no concreto necessárias para resistir esforços de tração, sua resistência é equivalente muito forte a compressão, essas armações de aço são essenciais em uma execução em uma viga e lajes.

O projeto para execução de uma obra é feita por um Engenheiro especializado como conhecido ou chamados de calculistas, são eles que determina a resistência do concreto, qual aço utilizar, as dimensões e bitolas das vigas, lajes, sapatas, pilares, os espaçamentos das barras etc. o concreto armado pode ser construído no próprio local e pré-fabricadas. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014)

Uma das vantagens do concreto armado, é sua boa resistência aos esforços que ocorre na estrutura, seu custo de manutenção é baixo, facilidade de moldagem, estrutura monolítica, sendo uma estrutura só, mão de obra menos qualificada, boa resistência a intempéries, fogo, frio, chuva, a estrutura de concreto armado é mais duradouro que qualquer outro método de construção, resistência a choques e vibrações.

As desvantagens, o concreto armado resulta em maiores dimensões que o aço, reduzindo a área útil da edificação, tem o tempo maior por conta do seu tempo de cura, maiores custos de demolição.

Figura 5 - Concreto armado



Fonte: Autoria própria (2020).

3.6 CORROSÃO DA ARMADURA DE CONCRETO

Ao longo da vida, observe que algumas fissuras e qualquer tipo de elementos estruturais aparecem, fazendo com que o concreto se desprenda quando o aço desprende da armadura na perda de seção. Podemos definir que a corrosão como uma interação destrutiva do material com o meio ambiente, por ações físicas, os fenômenos são erosão e cavitação, eletroquímicas corresponde ao processo corrosivo do metal aquoso, e a químicas as reações de expansão, lixiviação de composto hidratado do cimento no concreto e nas argamassas. Helene (1986).

Helene (1986), a corrosão do aço é eletroquímica está corrosão ocorre quando sua armadura entra em contato com oxigênio e umidade, ou seja, o concreto é um protetor para a sua armadura, o concreto evita que o oxigênio e a umidade alcancem a armadura, sendo um elemento altamente alcalino com pH13.

O processo de corrosão no concreto armado ocorre devido a traços inadequados do concreto, cobertura da armadura abaixo dos valores da ABNT NBR 6118/2014 – projeto de estrutura de concreto, norma que determina o cobrimento adequado que a estrutura deve conter, segregação do concreto, onde ocorre vazios no concreto reduzindo a resistência e provocando fissuras, deficiência de uma cura, entre diversos. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

A carbonatação do concreto é quando o pH do concreto é continuamente reduzido, reduzindo a camada passiva do aço. Na identificação da carbonatação é feito um teste utilizando um meio químico chamado fenolftaleína, ou seja, onde é aplicada no concreto, a coloração violeta significa a carbonatação do concreto, o meio que carbonada mas é pelas as fendas, fissuramentos por isso temos mas processos de corrosão, além da carbonatação outro ataque é pelo processo de íon cloreto. (GENTIL, 2014).

A corrosão pode ocupar um grande volume que pode ficar 4 a 10 vezes superior ao volume inicial do aço no concreto, acumulando cada vez mais ao redor da armadura assim produzindo um grande esforço contra o concreto. Assim essas tensões acabam fissurando as peças de concreto, e aumentando ao passar do tempo, acontecendo o deslocamento do concreto. (GENTIL, 2014).

Figura 6 - Corrosão na estrutura de concreto armado



Fonte: Autoria própria (2020).

3.7 VIDA ÚTIL

A NBR 15575/13 – Desempenho de edifícios residenciais, define VU (vida útil) como uma medida temporal da durabilidade de um edifício. No Brasil o papel de um projetista é tornar que a VU (vida útil) de quais quer projeto, tenha seu papel para estabelecer o mínimo de idade da construção, um papel muito importante que a maioria dos engenheiros não prevê. A vida útil do concreto é considerada como resultado de ações coordenado e realizado em todas as fases do processo de construção: projeto, planejamento, design, escolha de materiais e componentes, execução. (VILASBOAS, 2004).

Figura 7 - Vida Útil de Projeto Mínima a ser estabelecida pelo projetista

Sistema	VUP mínima em anos
Estrutura	segundo ABNT NBR 8681-2003
Pisos internos	≥13
Vedação vertical externa	≥40
Vedação vertical interna	≥20
Cobertura	≥20
Hidrossanitário	≥20
* Considerando periodicidade e processos de manutenção especificados no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção entregue ao usuário elaborado em atendimento à ABNT NBR 5674.	

Fonte: Norma ABNT NBR 15575/13.

Para estruturas de concreto armado que precisam ter uma vida útil elevada, a durabilidade reduzida causa um consumo elevado de matéria-prima, produção de poluentes, custos de energia e custos adicionais com reparos, renovação e manutenção de construções. Aumentar a vida útil, mostra-se uma boa solução de longo prazo para a preservação dos recursos naturais, redução de impactos, economia de energia e ampliação do potencial de extração de reservas naturais. (VILASBOAS, 2004).

Segundo a (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014), estabelecem níveis de deterioração nos parâmetros tais como, fissuração, perda de seção, flechas, lascamento, etc, estas patologias apresentam problemas na vida útil. Agentes que faz que haja degradação no

concreto, alguns deles são os esforços mecânicos, elementos químicos, agentes biológicos.

3.8 FENOLFTALEINA

A NBR 11342/12 determina que é um reagente que se encontra na forma sólida, é utilizado em práticas físicas e químicas para identificar o pH, acidez de basicidade, também é considerado um indicador de corrosão, materiais que estão em processo de corrosão, apresentando-se como um sólido branco, sendo utilizado na forma líquida em solução alcoólica a 1%, em 70% álcool etílico e 29% água destilada, formando um coloração no concreto aplicado, também ele é insolúvel em água, pois ele só dilui em álcool etílico, frequentemente ele é utilizado em práticas de titulação de formas de solução alcalinas nos quais mantem a solução em color, então quando a solução é identificada como acida ela fica incolor, e quando ela se toma numa coloração violeta, está dizendo que está sendo considerada o pH como base. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012).

Figura 8 - Fenolftaleina



Fonte: Autoria própria (2020).

3.1.1 Classe de Agressividade Ambiental

De acordo com a norma (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014) NBR 6118/2014, o projeto estrutural deve ser classificado de acordo com a tabela da norma, pois essas classificações estão relacionadas as ações químicas e física onde atua sobre as estruturas do concreto, são influenciados nos valores mínimos da resistência mecânica, leva em considerações os valores mínimo do cobrimento da armadura e a máxima abertura de fissuramento permitida. Devido as pesquisas buscadas foi constatado que no Município de Monte Negro – RO, é de classe II, moderada, e compõem uma classificação geral como de Urbana, com risco pequeno.

Figura 9 - Classes de agressividade ambiental

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.

Classes de Agressividade Ambiental:

- Classe de Agressividade Ambiental I: Estruturas expostas a um ambiente mais limpo não sofrem agressões químicas devido à poluição urbana, chuva ácida. O risco do dano da estrutura é baixo. Logo, é possível utilizar uma

camada mais fina de concreto na armadura. Grupo que inclui edifícios instalados em ambientes rurais.

- Classe de Agressividade Ambiental II: Esses ambientes são classificados como, classe 2 por que estão mais expostos às agressões ambientais, são eles o CO_2 e cloretos presentes na atmosfera. Onde a umidade constante e risco de dano na estrutura é mínima. Este grupo inclui estruturas construídas em cidades, residenciais e comerciais.
- Classe de Agressividade Ambiental III: Nesta categoria estão os edifícios expostos à atmosfera marinha, como os edifícios em cidades costeiras. A taxa de corrosão no meio marinho chega ser de ordem de 35 a 45 vezes maior à que ocorre nas áreas rurais.
- Classe de Agressividade Ambiental IV: Este grupo apresenta as estruturas implantadas nos locais úmidos, como indústrias. Ambiente extremamente agressivo para o concreto e suas armaduras. Daí é implantada uma maior necessidade de proteção.

Na figura 10 mostra os requisitos mínimos de qualidade do concreto em relação a água, cimento máximo e a classe de resistência do concreto em função da classe de agressividade ambiental. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

Figura 10 - Classe de Agressividade e 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.

3.1.2 Carbonatação

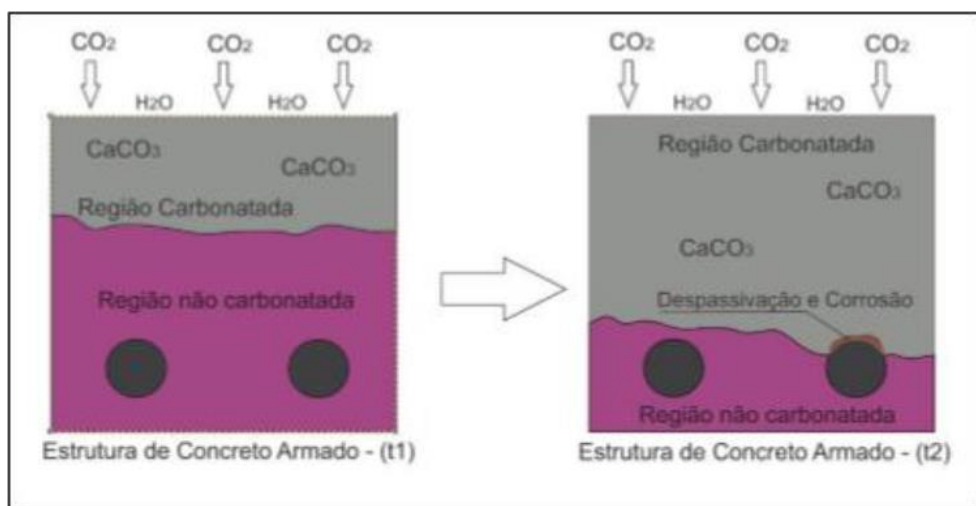
A carbonatação se trata de um processo de reação entre o cimento e o CO₂, assim provocando uma redução do pH de equilíbrio 12,5 para 9,5, por conta da penetração dos gases ou água nos poros de concreto, e ao atingir a armadura de aço, ocasiona a corrosão, expandindo concreto e aparecendo fissuras, assim a estrutura de concreto armado tende a afetar a sua vida útil. Essas ocorrências são mais frequentes quando é logo após um período de clima de chuva e um clima fresco, a um período quente e seco. (NEVILLE, 1997).

Os íons cloreto e carbonatação são os principais agentes agressivos que causam a despassivação do aço, onde se inicia o processo de corrosão da armadura. Ressalta-se que a corrosão considerada eletrolítica, que ocorre em meio aquoso, afetando consideravelmente a durabilidade e vida útil da estrutura. (ALMEIDA, 2012).

Além disso, essa relação também influencia a profundidade de carbonatação do concreto, uma vez que a carbonatação está diretamente ligada à porosidade do cimento hidratado. O escoamento da água ocorre entre os poros interligados e atrelados à relação água / cimento e ao grau de hidratação do cimento. As dimensões do revestimento atuam como uma barreira física contra agentes externos agressivos, enquanto a alcalinidade do eletrólito representa

uma barreira química. Como a estrutura pode ser danificada em termos de estabilidade como um todo, bem como danos significativos, é fundamental garantir a qualidade da cobertura de concreto, uma vez que nesta região da estrutura ocorre carbonatação. (TASCA, 2012). A figura 11 ilustrada por (TASCA, 2012), é referente a carbonatação do concreto até a corrosão da armadura no concreto.

Figura 11 - Avanço de carbonatação nos intervalos de tempo



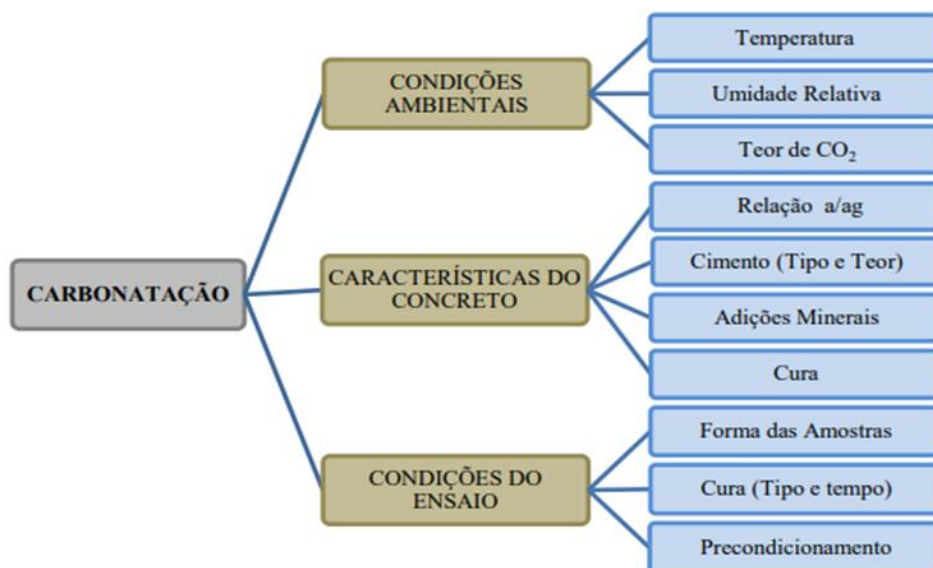
Fonte: Tasca, 2012.

Figura 13 - Carbonatação na estrutura de concreto armado



Fonte: <https://www.tecnosilbr.com.br>.

Figura 12 - Fatores que influencia na carbonatação



Fonte: PERIM (2013).

Através de uma solução aquosa alcoólica de fenolftaleína aplicada em qualquer área do concreto, apresentará uma cor violeta no local não carbonatado com o seu pH 12,5, e na área carbonatada, o pH é entre 9,5 a 12,5, assim permanecendo incolor. Processo que tem que ser feito com a quebra de um

concreto e logo depois adicionar o elemento químico fenolftaleína, antes que haja a presença o CO_2 venha a reagir com o concreto, onde o indicador vai reagir com uma coloração violeta. (ALMEIDA, 2012).

Figura 14 - Escala de cores provocadas pela a fenolftaleína no concreto

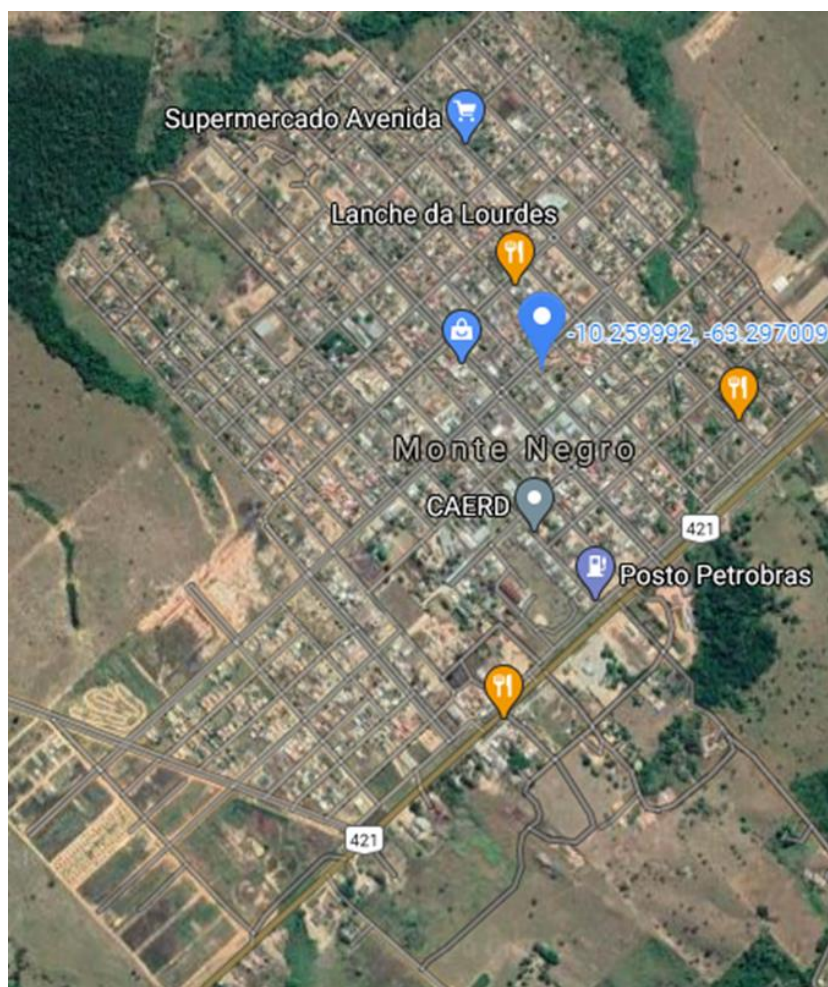


Fonte: MOREIRA (2016).

4 METODOLOGIA

Estudo de caso com intuito de identificar a carbonatação de pilares de um muro com diferentes idades, localizado na Rua dos Buritis número 2504, Monte Negro – Rondônia, Centro do Município, adquirindo maior conhecimento sobre o fenômeno da carbonatação na estrutura de concreto armado. várias verificações foram feitas nos locais de estudo, incluindo registros fotográficos, a fim de determinar os pontos que afetaram a carbonatação. Data dos registros fotográficos 11 de dezembro de 2020.

Figura 15 - Município de Monte Negro - Rondônia - BR-421



Fonte: GOOGLE MAPS

Realizar o presente trabalho de conclusão de curso, foram efetuadas análises de observação em 6 pilares de uma residência, onde foi feita uma reforma de um muro, 3 pilares de um muro que foi feito em pleno 2020, e 3 pilares

de um muro antigo, concluído em pleno ano de 1997, no setor 01 no município de Monte Negro – RO, com finalidade de observar se a profundidade de carbonatação tem variação significativa.

O método que se utilizou para a identificar a carbonatação foi através de uma reação química, um procedimento feito com a reação da fenolftaleína, onde o elemento químico elucida uma cor violeta na estrutura de concreto deparando o pH alcalino, identificando se de fato há a carbonatação na estrutura. Foi utilizado uma talhadeira e um martelo para o rompimento da superfície do concreto até chegar na armadura de aço. Com uma seringa pequena foi aplicado a fenolftaleína nas aberturas dos pilares rompidos. No pilar antigo (1997), o concreto se soltava-se facilmente no rompimento de força braçal. Na estrutura nova (2020), o concreto era mais resistente.

A partir de identificações visuais e levantamento prévio foi determinado que a estrutura mais antiga (1997) apresenta já corrosão na sua armadura de aço onde possíveis presença de fissuramento e o destacamento ira aparecer no pilar de concreto afetando mais sua resistência mecânica, tais problemas podem diminuir o seu tempo de vida por fatores evasivas na estrutura de aço em um determinado tempo. As superfícies rompidas foi todas limpadas corretamente e aplicada o concreto, evitando futuros problemas na estrutura.

O elemento químico fenolftaleína que foi utilizado nos testes, foi manipulado pelo o químico Jociel do laboratório de química do instituto FAEMA – Faculdade de Meio Ambiente e Educação, onde foi retirado no dia 18 de julho de 2020.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 INSPEÇÕES NOS PILARES

Com a fenolftaleína aplicada no concreto, ele o apresentou em duas cores diferentes. A superfície incolor foi carbonatada, pois o dióxido de carbono entrou em contato com a superfície exposta do concreto, diminuindo seu pH. A superfície com a cor violeta, porém, não ocorreu o processo de carbonatação, isso se deve ao fato de o dióxido de carbono ainda não ter entrado em contato naquela parte violeta no concreto, conseqüentemente não haverá reação nessa área e a resistência do concreto permanece o mesmo.

5.2 PILARES ANTIGOS (1997)

Teste realizado em 11/12/2020. Os pilares antigos (1997) apresentavam os 3 pilares carbonatados, atingindo as armaduras com agentes agressivos penetrando no concreto. As figuras a seguir mostram os resultados da profundidade de carbonatação para as três colunas testadas.

Em uma estrutura carbonatada, o pH do concreto é alterado, sendo reduzido, causando uma menor resistência do concreto. Portanto, a estrutura pode apresentar outras patologias, podendo desabar, causando graves acidentes.

Figura 16 - Primeiro pilar antigo analisado.



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 17 - Segundo pilar antigo analisado.



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 18 - Terceiro pilar antigo analisado



Fonte: Autoria própria (2020).

5.5 PILARES NOVOS (2020)

Teste realizado em 11/12/2020. Conforme as Figuras (), pode-se observar que os pilares da nova parede não apresentavam frente de carbonatação, ou seja, o pH do concreto permanece o mesmo, não sendo alterado em função das reações dos componentes do cimento e agentes agressivos. Por se tratar de uma estrutura recente, com pouco mais de 1 mês, não teve tanta exposição a agentes que agredem o meio ambiente.

Figura 17 - Primeiro pilar analisado



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 18 - Segundo pilar analisado



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 19 - Terceiro pilar analisado



Fonte: Autoria própria (2020).

6. CONCLUSÃO

Com base nos estudos realizados e nos resultados obtidos, a propagação da carbonatação tem diversos fatores que influenciam, tais como a concentração de CO₂, umidade do ar, relação água / cimento, a execução do concreto, processo de cura, temperatura ambiente, a idade da estrutura.

As informações apresentadas mostram que o valor de um concreto dosado corretamente, manutenções nas estruturas, exigências pela NBR, trazendo em consideração a escolha dos agregados, auxilia na eliminação de múltiplos problemas relacionados à corrosão da armadura futuramente e que é importante ressaltar a necessidade de preservação do valor útil vida dos pilares.

As análises efetuadas foram possíveis observar as patologias existentes na estrutura de concreto armado, fissuramentos, armaduras expostas, rachaduras, ausência de manutenção. Em relação a classe de agressividade do nosso estado, o possível risco de deterioração é baixo, pois não agrega o grande risco de acordo com a NBR 6118/14, a classe que corresponde é de pequeno risco, mais mesmo com essa característica é de suma importância fazer análises e estudos e suas manutenções corretas, diminuindo riscos futuros.

Os pilares antigos apresentavam patologias que facilitam a difusão do dióxido de carbono, fazendo que acelere o processo da carbonatação do concreto armado. Ambos pilares apresentava as mesmas patologias, por falta do traço correto a estrutura ao quebrar para a realização do teste, o concreto apresentava esfarelado, apresentando todo o concreto até a armadura carbonatado. Os pilares antigos eles sofrem mais agressividade ambiental, por causa de sua situação, apresentando fracas, e os tijolos por não estar rebocado, apresentando amostra.

O concreto de maior resistência é mais compacto, dificultando a entrada de elementos agressivos, o dióxido de carbono. A análise pela relação água / aglomerante é caracterizada da mesma forma, pois quanto maior a proporção de água, mais porosidade deve compor a estrutura e mais fácil é para os agentes agressivos penetrarem nela.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MEHTA P, K.; MONTEIRO P. J. M. **Concreto: estruturas, propriedades e materiais**. 1. ed. São Paulo: PINI,1994.573 p.

COMIM, K. W., & Tatiana Alves Cecílio ESTACECHEN. (Jul – dez de 2017). **CAUSAS E ALTERNATIVAS DE REPARO DA CORROSÃO EM ARMADURAS**. v. 9, Ed. Esp. de Patologia, p. 36 – 47. Belo Horizonte: Revista CONSTRUINDO.

PETRUCCI, E. G. R. PAULON, V. A. **Concreto de cimento Portland**. 10. ed Porto Alegre: Globo, 1983. 307p ISBN (Broch.)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118: **Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2014.

TERZIAN, P. Concreto Pré-Fabricado in: Isaia, Geraldo. **Concreto Ensino, pesquisas e realizações**. Editora IBRACON, volume 2, 2005.

ABNT. (2020). NBR8451/20: **Postes de concreto armado e protendido para redes de distribuição e de transmissão de energia elétrica**.

GENTIL, V. **Corrosão, Rio de Janeiro**: Editora LTC, 6ª edição, 2014.

HELENE, P. R. L. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SAO PAULO. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. São Paulo: IPT, PINI, 1986. 46 p.

VILASBOAS, J.M.L. **Durabilidade das edificações de concreto Armado em salvador: uma contribuição para a Implantação da nbr 6118:2003**. Dissertação apresentada ao curso de Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologia Ambiental no Processo Produtivo. Universidade Federal da Bahia. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2012). NBR 11342:2012: **Hidrocarbonetos líquidos e resíduos de destilação — Determinação qualitativa de acidez ou de basicidade**.

NEVILLE, A. M. (1997). **Propriedades do concreto**. 2. ed. (S. E. Giamusso, Trad.) São Paulo: PINI.

ALMEIDA, L. U. (2012). **CORROSÃO EM ARMADAS DE CONCRETO - VERIFICAÇÃO DO PROCESSO CORROSIVO EM POSTES DE CONCRETO ARMADO NO CONJUNTO FEIRA VI, FEIRA DE SANTANA - BA. FEIRA DE SANTANA, BAHIA, BRASIL**. Fonte: <http://civil.uefs.br/DOCUMENTOS/LUAN%20UISLEI%20SANTOS%20ALMEIDA.pdf>

TASCA, M. **Estudo da carbonatação natural de concretos com pozolanas: monitoramento em longo prazo e análise da microestrutura.** 2012. 178 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2012.

TÉCNICAS, A. B. (25/10/2019). *NBR 11768/19 Aditivos químicos para concreto de cimento Portland - Requisitos.*



RELATÓRIO DE VERIFICAÇÃO DE PLÁGIO

DISCENTE: Gefferson Willian Roos do Carmo

CURSO: Engenharia Civil

DATA DE ANÁLISE: 26.11.2020

RESULTADO DA ANÁLISE

Estatísticas

Suspeitas na Internet: **9,33%**

Percentual do texto com expressões localizadas na internet ⚠️

Suspeitas confirmadas: **8,29%**

Confirmada existência dos trechos suspeitos nos endereços encontrados ⚠️

Texto analisado: **92,93%**

Percentual do texto efetivamente analisado (frases curtas, caracteres especiais, texto quebrado não são analisados).

Sucesso da análise: **100%**

Percentual das pesquisas com sucesso, indica a qualidade da análise, quanto maior, melhor.

Analisado por Plagius - Detector de Plágio 2.4.11
quinta-feira, 26 de novembro de 2020 15:30

PARECER FINAL

Declaro para devidos fins, que o trabalho do discente **GEFFERSON WILLIAN ROOS DO CARMO**, n. de matrícula **21443**, do curso de Engenharia Civil, foi **APROVADO** na verificação de plágio, com porcentagem conferida em 9,33%. Devendo o aluno fazer as correções que se fizerem necessárias.

(assinado eletronicamente)
HERTA MARIA DE AÇUCENA DO N. SOEIRO
Bibliotecária CRB 1114/11
Biblioteca Júlio Bordignon
Faculdade de Educação e Meio Ambiente